

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение испытательного центра силовых трансформаторов ООО «Тольяттинский трансформатор»

Студент	<u>С.О. Кравченко</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>В.П. Тараканов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Аннотация

В бакалаврской работе рассматривается задача проектирования электроснабжения трансформаторного завода. При проектировании решаются задачи, которые заключаются в определении расчетных электрических нагрузок, выборе числа и мощности трансформатора. Для выбора элементов системы производится расчет токов короткого замыкания, рассматриваются вопросы, касающиеся релейной защиты и автоматики трансформатора ГПП.

В бакалаврской работе: 58 страниц, 10 таблиц, 5 рисунков.

Abstract

This graduation project deals with the power supply of the testing center of power transformers of Togliatti Transformer.

The calculation of electrical loads, calculation of short circuit currents, calculation of relay protection and safety and environmental friendliness were made, when working in the testing center are highlighted in the project's general part.

Electric load of the enterprise was calculated. Then we analyzed transformers of the main step-down substation.

Next according to the technical and economic indicators of two options, we accept for installation on the GPP two TDN 10000/110 transformers.

The short circuit currents are calculated, the equipment is selected: VGT-110II-40/2500 and BB / TEL-10 switches, RDZP disconnectors, metering and control devices, TOL-110U1 and TOL-6 current transformers, ZNOLP-6 voltage transformers.

The special part of the project gives details about designed relay protection. The used technology corresponds to the requirements of selectivity, reliability, sensitivity.

The issues of safety and environmental compatibility of equipment operation are considered, it is used in this project, grounding of the GPP is calculated.

We also have examined how lightning protection at substations works.

Finally, we present the work on the identification of hazardous and harmful production factors.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта проектирования.....	7
2 Расчет электрических нагрузок	10
2.1 Определения электрических нагрузок освещения.....	10
2.2 Расчет рабочего освещения.....	15
3 Выбор силовых трансформаторов ГПП 2.....	17
4 Расчет токов короткого замыкания.....	23
5 Выбор электрических аппаратов на стороне 110кВ и 6кВ.....	34
5.1 Выбор выключателей 110кВ.....	34
5.2 Выбор разъединителей 110кВ.....	35
5.3 Выбор трансформаторов тока 110кВ.....	36
5.4 Выбор гибких шин 110кВ.....	37
5.5 Выбор аппаратов на стороне 6кВ.....	38
5.6 Проверка выключателя на стороне 6кВ.....	39
5.7 Проверка трансформатора тока.....	41
5.8 Проверка трансформатора напряжения.....	43
6 Расчет релейной защиты.....	45
6.1 Защита от повреждений внутри кожуха и от понижений уровня масла... ..	45
6.2 Защита от повреждений на выводах и от внутренних повреждений трансформатора.....	45
7 Безопасность и экологичность при работе в испытательном центре.....	50
7.1 Описание оборудования.....	50
7.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов.....	50
7.3 Расчет заземления ГПП 110/10 кВ.....	51
7.4 Молниезащита на подстанциях.....	53
Заключение.....	55
Список используемых источников.....	56

Введение

Датой рождения нашего предприятия считается 5 июля 1956 года. В 1961 году произведен первый трансформатор класса напряжения 110 кВ, мощностью 5600 кВ·А.

Сейчас производство силовых высоковольтных трансформаторов это одно из важнейших направлений деятельности предприятия. Трансформаторы под маркой ООО «Тольяттинский Трансформатор» используются на электростанциях, в электрических сетях федерального и регионального уровня, в системах электроснабжения промышленных предприятий, в черной и цветной металлургии, на электрифицированном железнодорожном транспорте, в сельском хозяйстве и на других хозяйствующих объектах России и стран СНГ. Электротехническое оборудование производства Тольятти надежно эксплуатируется более чем в 50 странах мира, включая регионы Восточной и Западной Европы.

Кроме того, завод изготавливает и продукцию по специальным техническим требованиям заказчиков, с более жесткими характеристиками. Так, например, возможно изготовление специальных трансформаторов с повышенной стойкостью к ударным токам, предназначенных для питания прокатных станов и печей металлургических производств с резкопеременными нагрузками. Имеются трансформаторы для нужд МПС, в том числе для двигателей электропоездов, питания тяговых подстанций, контактных сетей, передвижных тяговых подстанций и др. Разработанные для атомных электростанций трансформаторы оснащаются самыми современными системами контроля их состояния в процессе эксплуатации. Общие производственные возможности предприятия по выпуску этой и другой продукции составляют 30 млн. кВА в год.

Продукция марки Группы Компаний «Тольяттинский Трансформатор» используется на данный момент на главных энергетических объектах, таких, как ГЭС, ТЭЦ, АЭС, на предприятиях РАО «ЕЭС России», в энергосистемах,

в системах электропитания промышленных предприятий, на подстанциях электрифицированных железных дорог и на электровозах, на предприятиях нефтегазового комплекса, на муниципальных объектах и в сельском хозяйстве России и стран СНГ. Трансформаторы были внесены и исправно работают в 50 странах дальнего зарубежья.

1 Характеристика объекта проектирования

Объединившись с Институтом космических исследований РАН, Самарским аэрокосмическим университетом и институтом ВИТ (Украина) выполнены научно-исследовательские работы и организовано производство трансформаторов в сейсмостойком свершении до 9 баллов по шкале MSK-64.

ООО «Тольяттинский трансформатор» произвели трансформатор АДЦТН-125000/330 для Калининской АЭС . В проекте - отгрузка семи трансформаторов АОДЦТН-167000/500 и для Узбекистана (ПС «Согдиана»).

Каждый из находящихся в составе номенклатурного перечня выпускаемых заводом трансформаторов может быть собран с использованием комплектующих ведущих мировых производителей электротехнического оборудования. В числе основных поставщиков комплектующих и материалов завода выступают ведущие российские и зарубежные производители, - такие, как ОАО «Москабельмет», ОАО «Самаракабель», Новолипецкий и Верхне-Исетский металлургические комбинаты, Малинская и Серпуховская бумажные фабрики, компании «Maschinenfabrik Reinhausen GmbH» (переключающие устройства), «Menk Apparatebau GmbH» (системы охлаждения), «Elektromotoren und Geratebau Barleben GmbH» (защитные системы), «AREVA Schorch Transformatoren GmbH» (системы мониторинга), «Lacroix+Kress» и «PUCARO Electro-Isolierstoffe GmbH» из Германии, «Sergi» (системы пожаротушения) из Франции, «WEIDMANN Systems International AG» (изоляционные материалы) из Швейцарии, «ABB Components AB» (вводы) из Швеции, «SMITD RAAD» из Нидерландов, «Hyundai Heavy Industries Co» из Кореи и Болгарии, «TRENCH (UK) Ltd.» из Великобритании и др.

Система управления качеством предприятия сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта качества ISO-9001

(Сертификат № РОСС RU.I/C 23. К 00378).

Испытательный центр Группы Компаний «Тольяттинский Трансформатор» аккредитован Госстандартом России в качестве технически компетентной лаборатории на право проведения работ по испытаниям трансформаторов (Сертификат № РОСС RU.0001.22MB19).

Группа Компаний «Тольяттинский Трансформатор» получила свидетельства об аккредитации предприятия в РАО «ЕЭС России» по изготовлению оборудования для объектов электроэнергетики, а также по монтажу, наладке и ремонту объектов электроэнергетики.

В последние годы Группа Компаний «Тольяттинский Трансформатор» совместно с ВИТом организовала и исследовала выпуск новых переключающих устройств для регулирования напряжения типа РНТА. Наиболее современные усовершенствованные переключающие устройства РНТА-У-35/200 имеют, в отличие от предшественников, совмещенный с устройством привод. Для улучшения качества производства данных переключателей завод начал производить особо точные детали и узлы привода на вновь приобретенном оборудовании с ЧПУ. Переключающее устройство РНТА-35/200Р-16/20-93-У1 разработано для ступенчатого регулирования напряжения под нагрузкой силовых понижающих трансформаторов класса напряжения 110 кВ, мощностью от 6,3 до 40 МВА. Переключающее устройство РНТА-У-35/200-8/9-2000-У1 предназначено для ступенчатого регулирования напряжения 35 кВ и мощностью от 2,5 до 10 МВА.

Второе ведущее направление развития Группы Компаний «Тольяттинский Трансформатор» это преобразовательная техника на основе высоковольтных тиристорных блоков. Для производства изделий преобразовательной техники был специально спроектирован и возведен новый производственный корпус, оснащенный современным оборудованием, технологическими линиями и уникальным комплексом испытательного оборудования.

Группа Компаний «Тольяттинский Трансформатор» разрабатывает и изготавливает преобразовательную технику на основе высоковольтных тиристорных блоков для линий (вставок) электропередач постоянного и переменного тока сверхвысоких напряжений, статические компенсаторы реактивной мощности, тиристорные пускоостанавливающие устройства для мощных промышленных электродвигателей и газоперекачивающих агрегатов, конденсаторные установки, агрегаты и системы охлаждения.

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Определение электрических нагрузок освещения

Величина расчетной активной нагрузки зависит от числа и уставленной мощности электроприёмников, от характера производства и от степени автоматизации производственного процесса.

Установленная мощность электроприемника

$$P_y = P_H. \quad (2.1)$$

Расчетная мощность электроприемников

$$P_P = K_u \cdot P_y, \quad (2.2)$$

Где: K_u – коэффициент использования, 0.2.

Величина реактивной нагрузки

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.3)$$

Полная расчетная нагрузка

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}. \quad (2.4)$$

Приведен расчет нагрузкой испытательного центра.

Рассчитаем нагрузки для каждого электроприемника отдельно.

Для синхронного двигателя ДСП 215/94 – 8 $P_H=6300$ кВт.

а) Установленная мощность

$$P_y = P_H = 6300 \text{ кВт.}$$

б) Активная расчетная мощность

$$P_P = K_u \cdot P_y = 0.2 \cdot 6300 = 1260 \text{ кВт.}$$

в) Реактивная расчетная мощность

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \alpha = 1260 \cdot 0.75 = 945 \text{кВар.}$$

д) Полная расчетная мощность

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{1260^2 + 945^2} = 1575 \text{кВА.}$$

Для синхронного двигателя ДСС 140/74 – 5 $P_H=2500$ кВт.

а) Установленная мощность

$$P_y = P_H = 2500 \text{кВт.}$$

б) Активная расчетная мощность

$$P_P = P_P \cdot P_y = 0.2 \cdot 2500 = 500 \text{кВт.}$$

в) Реактивная расчетная мощность

$$Q_P = P_P \cdot \tan \alpha = 500 \cdot 0.75 = 375 \text{кВар.}$$

д) Полная расчетная мощность

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{500^2 + 375^2} = 625 \text{кВА.}$$

Для синхронного двигателя МП 680 $P_H = 500$ кВт.

а) Установленная мощность

$$P_y = P_H = 500 \text{кВт.}$$

б) Активная расчетная мощность

$$P_P = K_u \cdot P_y = 0.2 \cdot 500 = 100 \text{кВт.}$$

в) Реактивная расчетная мощность

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \alpha = 100 \cdot 0.75 = 75.25 \text{кВар.}$$

д) Полная расчетная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{100^2 + 75^2} = 125 \text{кВар.}$$

Для синхронного двигателя СД 13 – 42 БА $P_H=575$ кВт

а) Установленная мощность

$$P_y = P_H = 575 \text{кВт.}$$

б) Активная расчетная мощность

$$P_p = K_u \cdot P_y = 0.2 \cdot 575 = 115 \text{кВт.}$$

в) Реактивная расчетная мощность

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg } \alpha = 115 \cdot 0.75 = 86.25 \text{кВар.}$$

д) Полная расчетная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{115^2 + 86.25^2} = 143.7 \text{кВар.}$$

Для синхронного двигателя СД 1246 – 68 $P_H=360$ кВт.

а) Установленная мощность

$$P_y = P_H = 360 \text{кВт.}$$

б) Активная расчетная мощность

$$P_p = K_u \cdot P_y = 0.2 \cdot 360 = 72 \text{кВт.}$$

в) Реактивная расчетная мощность

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg } \alpha = 72 \cdot 0.75 = 54 \text{кВар.}$$

д) Полная расчетная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{72^2 + 54^2} = 90 \text{кВар.}$$

Для синхронного двигателя А 12 52 – 8 $P_H=320$ кВт.

а) Установленная мощность

$$P_y = P_H = 320 \text{ кВт.}$$

б) Активная расчетная мощность

$$P_P = K_u \cdot P_y = 0.2 \cdot 320 = 64 \text{ кВт.}$$

в) Реактивная расчетная мощность

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \alpha = 64 \cdot 0.75 = 48 \text{ кВар.}$$

д) Полная расчетная мощность

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{64^2 + 48^2} = 80 \text{ кВар.}$$

Для синхронного двигателя П 102 $P_H=100$ кВт.

а) Установленная мощность

$$P_y = P_H = 100 \text{ кВт.}$$

б) Активная расчетная мощность

$$P_P = K_u \cdot P_y = 0.2 \cdot 100 = 20 \text{ кВт.}$$

в) Реактивная расчетная мощность

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg} \alpha = 20 \cdot 0.75 = 15 \text{ кВар.}$$

д) Полная расчетная мощность

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25 \text{ кВар.}$$

Все нагрузки двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Нагрузки двигателя

Наименование потребителя	Активная нагрузка, кВт	Реактивная нагрузка, кВар	Полная мощность, кВА
ДСП 215/ 94 – 8	1260	945	1575
ДСП 215/ 94 – 8	1260	945	1575
ДСС 140/ 74 – 5	500	375	625
ДАФЗ 18-13-8	500	375	625
МП 680	100	75	125
СД 13 – 42 БА	115	86	143
СД 1246 – 68	75	54	90
А 12-52	64	48	80
П 102	20	15	25
Итого	3894	2918	4863

В соответствии с ПУЭ раздел 6 при комбинированном освещении, освещенность рабочей поверхности принимаем от светильников общего освещения 30%, и дополнительного 70% от светильников местного освещения.

Для случая аварийного погасания рабочего освещения для обеспечения условий видения, для производства оперативных работ эксплуатационному персоналу в машинном зале и щитовом помещении аварийное освещение от независимого источника питания, от аккумуляторной батареи.

Для внутреннего освещения камер РУ-6кВ принимаем напряжение от понизительного трансформатора 220/36В.

2.2 Расчет рабочего освещения

Применяя метод коэффициента использования, рассчитываем мощность ламп, и освещенность.

Определение площади помещения

$$S = a \cdot b = 24 \cdot 72 = 1730 \text{ м}^2.$$

где: a является длиной помещения, м;

b - шириной помещения, м.

Определение индекса помещения

$$i = \frac{S}{H - h \cdot a + b} = \frac{1730}{42 \cdot 24 + 72} = 0.42 .$$

где: H является высотой цеха, м;

h – высотой рабочей поверхности.

Определение коэффициента запаса

$$K_3 = 1.5 .$$

Рассчитываем коэффициент отражения потолка, стен и пола:

Потолок: 50%

Стены: 30%

Пол : 20%

Предполагаем к установке лампы ДРИ-1000 Вт: 220В: со световым потоком 21000Лм, светильниками LB/R250M97025004. Расчет требуемого количества светильников

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{150 \cdot 1730 \cdot 1.5}{0.55 \cdot 1 \cdot 21000} = 33.70 \text{ шт.},$$

где: E является требуемой горизонтальной освещенностью , лк;

S - площадь цеха, м^2 ;

K_3 - коэффициент запаса;

η - коэффициент использования;

n - количество ламп в светильнике;

$\Phi_{л}$ - световой поток лампы.

Определяем расчетные активные и реактивные осветительные нагрузки

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л} = 34 \cdot 1 \cdot 1000 = 34000 ,$$

где: $P_{л}$ – мощность одной лампы, Вт.

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 34 \cdot 0.61 = 20.74 \text{ квар.}$$

$$\cos \varphi = 0.8 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0.61 .$$

Определяем суммарные активную и реактивную мощности

$$P_{\Sigma} = P_{P} + P_{осн} = 3894 + 34 = 3928 \text{ кВт} .$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{P} + Q_{осн} = 2918 + 20.74 = 2938.74 \text{ квар.}$$

Определяем полную суммарную нагрузку

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{3928^2 + 2938.74^2} = 4905.64 \text{ кВА.}$$

Для электроснабжения рабочего освещения принимаем групповую сеть, соединяющую групповые щитки с осветительными приборами на протяжении каждой группы.

3 Выбор силовых трансформаторов ГПП 2

Электроснабжение завода ООО «Гольяттинский трансформатор» выполняется от двух ГПП (ГПП 1 и ГПП 2, из них последняя снабжает испытательных центр).

График нагрузки за год (рис.1)

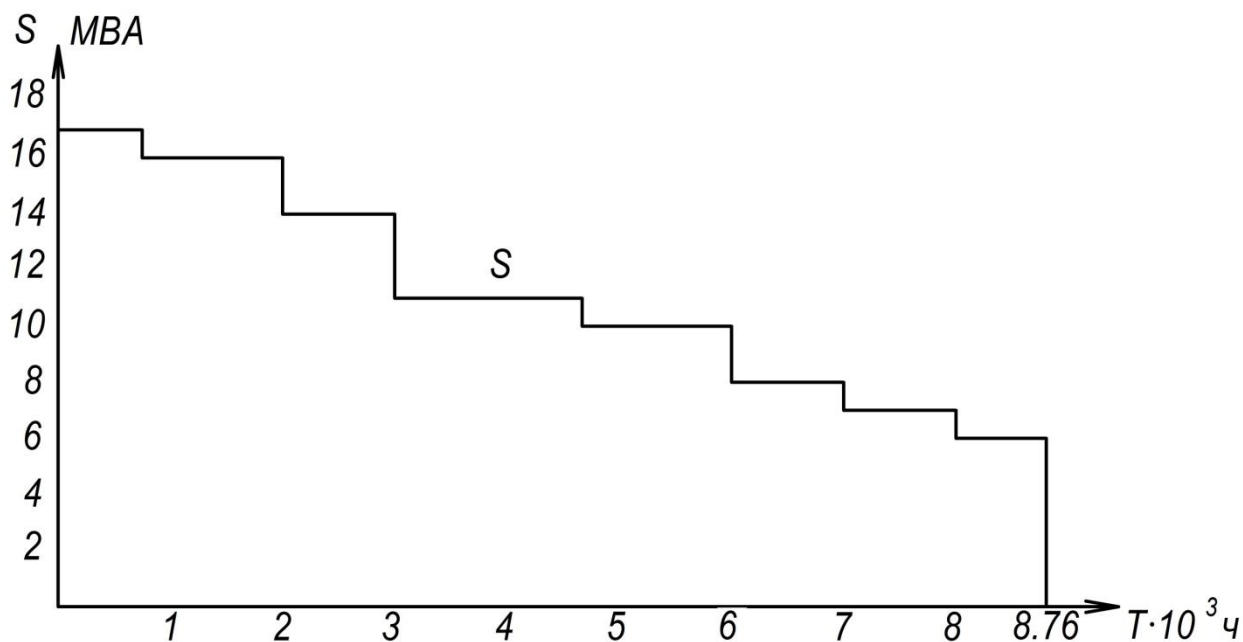


Рисунок 1-Годовой график нагрузки

Исходя из того что , все потребители 1 и 2 категории, применяются два трансформатора.

$S_{\text{ТНОМ}}$ определяется с учетом коэффициента участия потребителей

$$S_{\text{ТНОМ}} = K_{1-2} \cdot S_{\text{maxнс}} \cdot \frac{1}{K_{\text{пер}}} = 0.8 \cdot 16.62 \cdot \frac{1}{1.4} = 9.497 \text{ MVA.}$$

Используем для дальнейшего рассмотрения трансформатор с мощностями 10MVA И16 MVA.

Согласно справочным данным берем трансформаторы марок:

ТДН-10000/110/6.3;

ТДН-16000/110/6.3.

1) Рассчитываем версию, когда подстанция будет укомплектована двумя трансформаторами ТДН-10000/110/6.3.

Технические данные:

$$\Delta P_{XX} = 14,5 \text{ кВт}; U_{K\%} = 10,5\%; \Delta P_{K3} = 85 \text{ кВт}; I_{XX\%} = 0,8.$$

Потери реактивной мощности трансформатора в режиме XX

$$\Delta Q_X = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot S_{ном} = \frac{0,8}{100} \cdot 10000 = 80 \text{ квар.}$$

Потери активной мощности трансформатора XX

$$\Delta P'_X = \Delta P_X + K_{III} \cdot \Delta Q_X = 14,5 + 0,05 \cdot 80 = 18,5 \text{ кВт},$$

где: $K_{III} = 0,05$ кВт/квар.

Потери активной мощности в режиме КЗ соответствующих обмоток трансформатора 100% их нагрузке

$$\Delta P_{K.B} = \Delta P_{K.H} = 85 \text{ кВт.}$$

Приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме КЗ

$$\Delta P'_T = \Delta P'_X + K_3^{\ominus} \cdot \Delta P_T. \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \Delta P'_T &= \Delta P'_X + K_3^{\ominus} \cdot P_k + K_{III} \cdot Q_k = 18,5 + 1,66^2 \cdot 85 + 0,05 \cdot 1400 \\ &= 171,22 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$Q_k = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot S_{ном} = \frac{10,5}{100} \cdot 10000 = 10500 \text{ квар.}$$

Экономическая нагрузка трансформатора ПС

$$S_{\ominus} = S_{ном\ T} \cdot \sqrt[n-1]{\frac{\Delta P'_X}{\Delta P'_k}} = 10 \cdot \sqrt[2]{\frac{18,5}{92}} = 6,34 \text{ МВА.}$$

Если нагрузка трансформаторов на ПС меньше чем на 6,34 МВА один трансформатор необходимо отключить.

Рассчитанные данные потерь электроэнергии трансформаторов сведены в таблице 2.

Таблица 2- Рассчитанные данные потерь электроэнергии трансформаторов

№	S_{Bi} , МВА	n_i	T_i $\cdot 10^3$, ч	ΔW_{Xi} , кВт·ч	$K_{3.Bi}$	ΔW_{Ki} , кВт·ч
1	16,62	2	0,667	24769	1,66	84547,32
2	15,8	2	1,333	49321	1,58	153074,25
3	14,2	2	1	37000	1,42	92754,4
4	11,5	2	1,667	61679	1,15	101411,95
5	9,85	2	1,333	49321	0,98	58889,81
6	7,9	2	1	37000	0,79	28708,6
7	5,8	1	1	18500	0,58	15474,4
8	4,8	1	0,76	27500	0,48	8054,78
			ΔW_{Xi}	324120	ΔW_{Ki}	542915,5

Стоимость годовой потери на трансформаторах:

$$I_3 = \Delta W_{nc} \cdot C_3 = 324120 \cdot 1.53 = 49602.6 \text{ руб.},$$

где: ΔW_{nc} является годовыми потерями электроэнергии трансформаторов, кВт·ч;

C_3 – стоимостью 1кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·ч .

$$C_3 = \frac{\alpha}{T_M} + \beta = \frac{360}{5707} + 0.9 = 1.53 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

где: α является основной ставкой двухставочного тарифа за каждый кВт·ч активной энергии, учтенной расчетным счетчиком.

$$\begin{aligned} Z_{np} &= E_H \cdot K + I = E_H \cdot K + I_0 + I_{\Delta} = 0.25 \cdot 9000000 + 846000 + 49602.6 \\ &= 3145602.6 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

где: K является капитальными затратами на оборудование ПС (учитывается только стоимость трансформатора), руб.;

E_H - нормативным коэффициентом дисконтирования;

I - годовыми эксплуатационными издержками, руб.;

I_0 - годовыми отчислениями, руб. которые определяются выражением.

$$I_0 = p_{\text{сум}} \cdot K = 0.094 \cdot 9000000 = 846000,$$

где: $p_{\text{сум}}$ является суммарным коэффициентом отчислений, для силового оборудования 35-150 кВ; $p_{\text{сум}} = 0.094$.

2) Рассмотрим случай, когда подстанция будет укомплектована двумя трансформаторами ТДН-16000/110/6.3.

Технические данные:

$$\Delta P_{XX} = 18 \text{ кВт}; U_{K\%} = 10\%; \Delta P_{K3} = 85 \text{ кВт}; I_{XX\%} = 0.55.$$

Потери реактивной мощности трансформатора в режиме XX

$$\Delta Q_X = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot S_{ном} = \frac{0.55}{100} \cdot 16000 = 88 \text{ квар.}$$

Потери активной мощности трансформатора XX

$$\Delta P'_X = \Delta P_X + K_{III} \cdot \Delta Q_X = 18 + 0.05 \cdot 88 = 22.4 \text{ кВт},$$

где: $K_{III} = 0.05$ кВт/квар.

Потери активной мощности в режиме КЗ соответствующих обмоток трансформатора 100% их нагрузке

$$\Delta P_{K.B} = \Delta P_{K.H} = 85 \text{ кВт.}$$

Приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме КЗ

$$\begin{aligned} \Delta P'_T &= \Delta P'_X + \frac{S_{BH}^2}{S_{HH}} \cdot P_k + K_{III} \cdot Q_k = 22.4 + 1.04^2 \cdot 85 + 0.05 \cdot 1600 \\ &= 267.86 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$Q_k = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot S_{ном т} = \frac{10}{100} \cdot 16000 = 1600 \text{ квар.}$$

Экономическая нагрузка трансформатора ПС

$$S_{э} = S_{ном т} \cdot \sqrt[n-1]{\frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}} = 16 \cdot \sqrt[2]{\frac{22.4}{165}} = 8.33 \text{ МВА.}$$

Расчетные данные по потерям электроэнергии в трансформаторе сведены в таблице 3.

Таблица 3- Расчетные данные по потерям электроэнергии в трансформаторах

№	S_{Bi} , МВА	n_i	T_i $\cdot 10^3$, ч	ΔW_{Xi} , кВт·ч	$K_{з.Bi}$	ΔW_{Ki} , кВт·ч
1	16,62	2	0,667	29881,6	1,04	59517,74
2	15,8	2	1,333	59718,4	0,99	107784,05
3	14,2	2	1	44800	0,89	65348,25
4	11,5	2	1,667	74681,6	0,72	71294,25
5	9,85	2	1,333	59718,4	0,62	42273,43
6	7,9	2	1	44800	0,49	19808,25
7	5,8	1	1	22400	0,36	10692
8	4,8	1	0,76	34048	0,3	5643
			ΔW_{Xi}	392448	ΔW_{Ki}	382360,97

Стоимость годовой потери на трансформаторах:

$$I_{\text{Э}} = \Delta W_{nc} \cdot C_{\text{Э}} = 392448 \cdot 1.53 = 600445.44 \text{ руб.},$$

где: ΔW_{nc} является годовыми потерями электроэнергии трансформаторов, кВт·ч;

$C_{\text{Э}}$ – стоимостью 1кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·ч .

$$C_{\text{Э}} = \frac{\alpha}{T_M} + \beta = \frac{360}{5707} + 0.9 = 1.53 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

где: α является основной ставкой двухставочного тарифа за каждый кВт·ч активной энергии, учтённой расчётным счётчиком.

$$\begin{aligned} Z_{\text{пр}} &= E_H \cdot K + I = E_H \cdot K + I_0 + I_{\text{Э}} \\ &= 0.25 \cdot 14000000 + 1316000 + 600445.44 = 5416445.44 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

где: K является капитальными затратами на оборудование ПС(учитывается только стоимость трансформатора), руб.;

E_H - нормативным коэффициентом дисконтирования;

I – годовыми эксплуатационными издержками, руб.;

I_0 - годовыми отчислениями, руб. которые определяются выражением.

$$I_0 = p_{\text{сум}} \cdot K = 0.094 \cdot 14000000 = 1316000,$$

где: $p_{\text{сум}}$ является суммарным коэффициентом отчислений, для силового оборудования 35-150 кВ; $p_{\text{сум}} = 0.094$.

Из – за того что, расходы на трансформатор ТДН-16000/110/6.3 на много выше расходов на трансформатор ТДН-10000/110/6.3, то берем для дальнейшего исследования и установки на проектируемой подстанции трансформатор ТДН-10000/110/6.3 по наименьшей сумме приведенных затрат.

4 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания ведем в относительных единицах. В качестве источника питания берем энергосистему бесконечной мощности. За базисную мощность принимаем 1000 МВА

Двигатель мощность 6300 кВт.

$S\delta=1000\text{МВА}$; $X_d=0.134$; $I_k=0.9$.

$$x_1 = X_d \frac{S\delta}{S_H} = 0.134 \frac{1000}{6.3} = 21.2 .$$

Сопротивление трансформатора

$$x_3 = \frac{U_k \% \cdot S\delta}{S_H \cdot 100} = \frac{10.5 \cdot 1000}{6.3 \cdot 100} = 10.5 .$$

Сопротивление ЛЭП-110 кВ

$$x_2 = 0.4 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.06.$$

Сопротивление системы

$$x_1 = \frac{1000}{2000} = 0.5 .$$

Сопротивление кабелей

$$x_5 = x_8 = 0.08 \cdot 0.06 \frac{1000}{6.32} = 0.07 .$$

Сопротивление реактора

$$x_6 = x_9 \cdot \frac{S\delta \cdot x_p}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ}}} = 100 \cdot \frac{10.5 \cdot 0.1}{1.73 \cdot 0.7} = 86 ;$$

$$x_{10} = x_6 + x_5 + x_0 = 0.07 + 12.5 + 86 = 98.57;$$

$$x_{11} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 0.4 + 0.06 + 7.5 = 7.96 .$$

Определение трехфазного К.З. В точке К-1

Ток короткого замыкания для данного момента определяем по формуле.

$$I_n = I_n^3 \cdot I_{\Sigma \text{ном.}} \quad (4.1)$$

Определим ток К.З. В точке К-1

$$I_{K-1 \text{ действ}} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кА.}$$

Определяем ток К.З. от синхронных двигателей

$$I_{K-1 \text{ двиг}} = \frac{S_{\sigma}}{x_{\text{рез}}} = \frac{1000}{0.7} = 94.5 \text{ МВА.}$$

Схема замещения представлена на рисунке 3

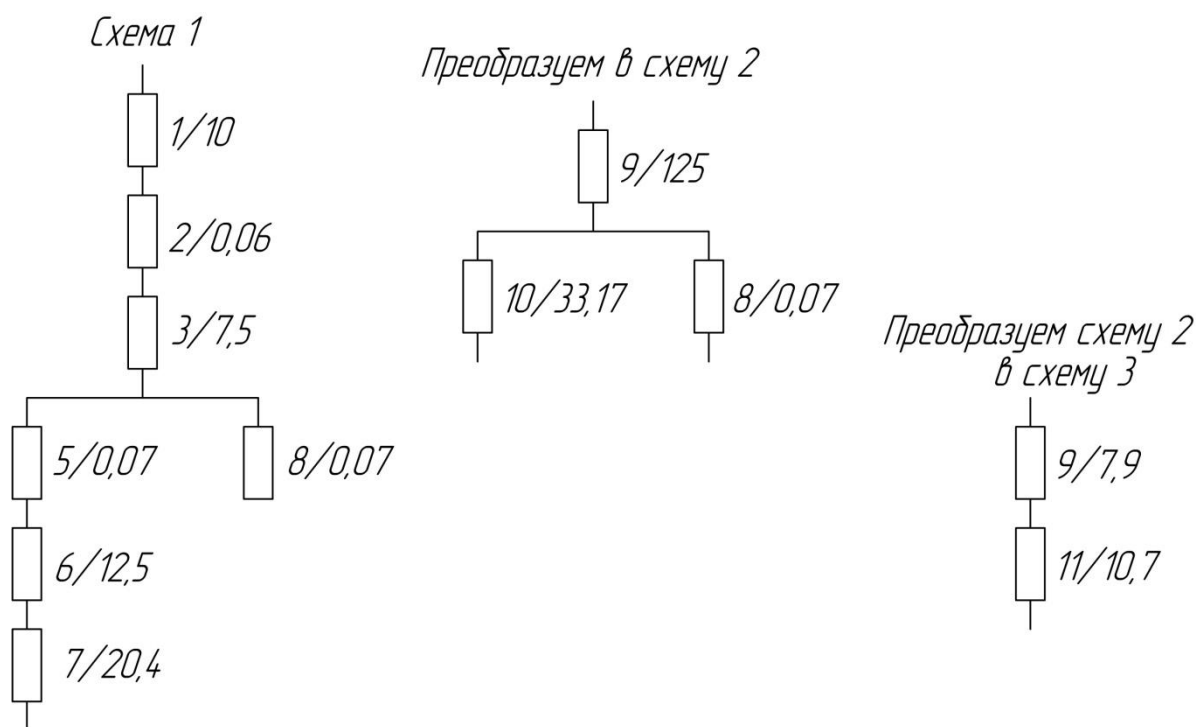


Рисунок 2 – Схема замещения для расчетов токов короткого замыкания

$$x_{12} = x_5 + x_6 = 12.5 + 0.07 = 12.57;$$

$$x_{13} = 15.5;$$

$$x_{14} = x_{12} + x_{11} + \frac{x_{12} + x_{11}}{x_{13}} = 12.5 + 7.9 + \frac{12.5 + 7.9}{15.5} = 23.12;$$

$$x_{15} = x_9 + x_{12} + \frac{x_9 + x_{12}}{x_{13}} = 86 + 12.57 + \frac{86 + 12.57}{15.5} = 108.57;$$

$$x_{16} = x_{13} + x_{12} + \frac{x_{13} + x_{12}}{x_8} = 15.5 + 12.57 + \frac{15.5 + 12.57}{12.5} = 40.4.$$

Результирующее сопротивление от системы

$$x_{рез} = 7.96$$

Определяем I_6

$$I_6 = \frac{S_6}{U_6 \sqrt{3}} = \frac{1000}{10.9} = 92 \text{ кА.}$$

Схема замещения

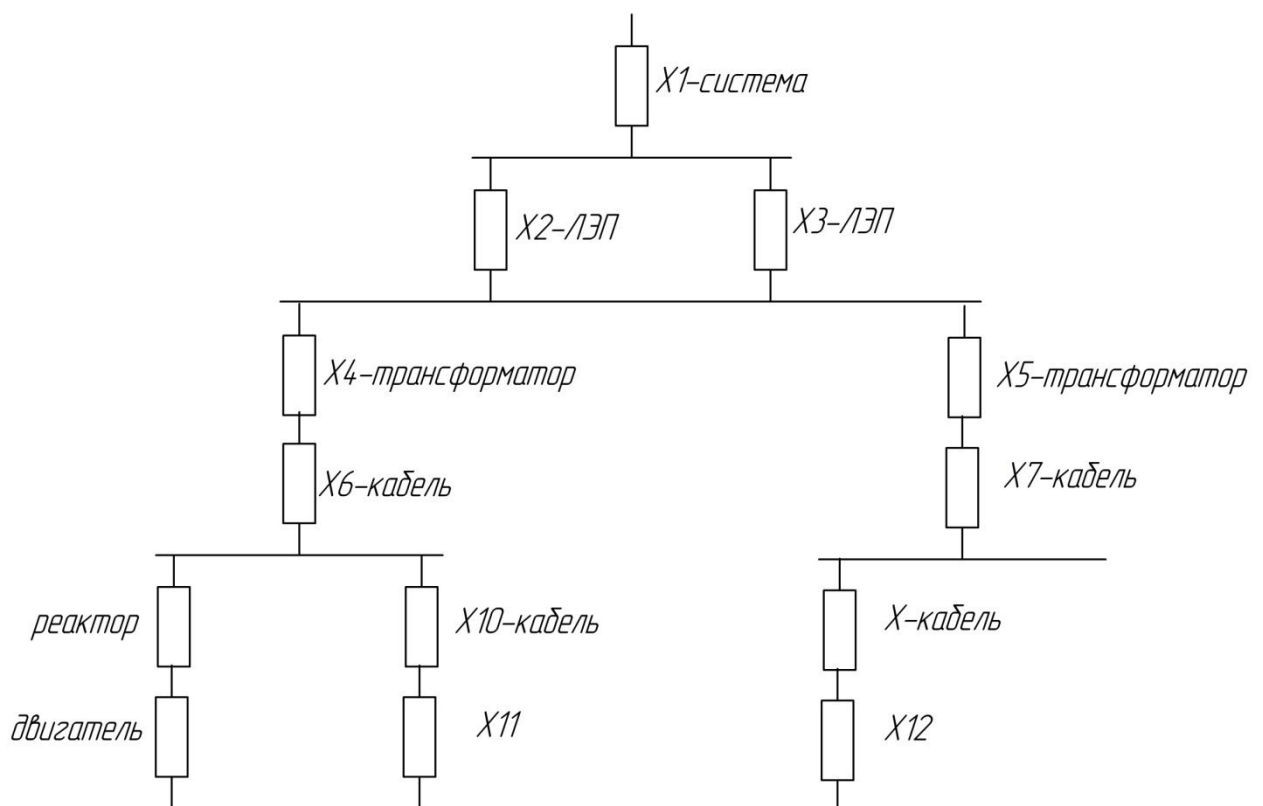


Рисунок 3 – Схема замещения

Трехфазный ток от системы определяется по формуле

$$I''_{k-1\text{сист}} = \frac{I_6}{x_{*k-1\text{рез}}} = \frac{92}{7.9} = 11.6\text{кА}.$$

Поскольку $x_{*\text{расч}} > 3$, то периодическая слагающая $I_{\text{к.з.}}$ изменяться не будет, для момента времени $t=0$ и $t=\infty$, будет равным, т.е. $I_{k-1} = 11.6\text{кА}$ и $I_{k-1}^{0.2} = 11.2\text{кА}$.

Определяем ударный ток К.З. от системы

$$i_{\text{удк-1}} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k-1} = 1.8 \cdot 1.41 \cdot 11.6 = 29.5\text{кА}.$$

Мощность К.З. в точке к-1 от системы

$$S_{k-1\text{сист}} = \frac{S_6}{7.9} = \frac{1000}{7.9} = 126.6 = \text{МВА}.$$

Определяем ток К.З. от синхронных двигателей:

$$x_{*\text{расч}} = x_{*\text{рез}} \frac{S_H}{S_6} = 10.7 \frac{21.8}{1000} = 0.235;$$

$$x_{18} = \frac{x_{16} \cdot x_{13}}{x_{16} + x_{13}} = \frac{40.4 \cdot 15.5}{40.4 + 15.5} = 11.2 .$$

Определение тока К.З. в точке к-2. Ток К.З.

Ток К.З. в точке к-2 поступает от системы, то результирующая сопротивление системы

$$x_{*\text{рез}} = x_{15} = 26.17 .$$

Среднее напряжение системы К.З.:

$$U_{\text{ср}} = U_6 = 6.3\text{кВ};$$

$$I_6 = 92\text{кА}.$$

Трехфазный ток от системы определяем

$$I''_{k-2\text{сист}} = \frac{I_6}{x_{\text{рез}}} = 3.2\text{кА}.$$

Поскольку $x_{\text{расч}} = x_{\text{рез}} \frac{S_n}{S} = 26.17 \frac{2000}{1000} = 57.4 > 3$, то периодическая слагающая по времени не будет изменяться.

Тогда

$$I_{k-2\text{сист}} = 3.2\text{кА}; \quad I_{k-2}^{0.2} = 3.2\text{кА}; \quad I_{k-2} = 3.2\text{кА}.$$

Определяем ударный ток от К.З. от системы

$$i_{\text{удкзсист}} = 1.8 \cdot \bar{2} \cdot 3.2 = 8.15.$$

Мощность К.З. в точке к-2 от системы

$$S_{k-2\text{сист}} = \frac{S_6}{x_{*\text{рез}}} = 34.8\text{МВА}.$$

Определяем ток К.З. от синхронного двигателя, подпитывающие точку к-2.

Суммарная мощность синхронных двигателей

$$\sum S_{\text{дв}} = 21800\text{кВа}.$$

Расчетное сопротивление

$$x_{*\text{расч}} = x_{\text{рез}} \cdot \frac{S_n}{S_6} = 26.17 \cdot \frac{21800}{1000} = 0.567.$$

Определяем ударный ток К.З.

$$I_{\text{удкздвиг}} = 2.8 \cdot 2 = 5.6\text{кА}.$$

Ударный ток в точке к-2 от синхронных двигателей

$$i_{\text{удкздвиг}} = 1.8 \cdot \bar{2} \cdot 5.6 = 12.7.$$

Мощность К.З. в точке к-2 от синхронных двигателей

$$S_{k-2\text{двиг}} = \frac{S_6}{x_{\text{рез}}} = \frac{1000}{26.17} = 31\text{МВА.}$$

Суммарный ток ударный в точке к-2

$$i_{\text{удк-2}} = i_{\text{удк-2сист}} + i_{\text{удк-2двиг}} = 8.15 + 12.7 = 20.85\text{кА.}$$

Суммарная мощность К.З. в точке к-2

$$S_{k-2} = S_{k-2\text{сист}} + S_{k-2\text{двиг}} = 34.48 + 31 = 65.8\text{МВА.}$$

Расчет трехфазного тока К.З. В точке к-3

$$x_{19} = 8.47;$$

$$x_{20} = 11.47 .$$

Определение тока К.З. в точке к-3 от системы

$$x_{*\text{рез}} = x_{19} = 8.47;$$

$$x_{*\text{расч}} = 8.47 \cdot \frac{2000}{1000} = 17.8\text{кА} .$$

Среднее напряжении ступени К.З. в точке к-3

$$U_{\text{ср}} = U_6 = 6.3\text{кВ};$$

$$I_6 = 92\text{кА} .$$

Трехфазный ток К.З. в точке к-3

$$I''_{k-3\text{сред}} = \frac{92}{8.47} = 10.8\text{кА} .$$

Так как $x_{*\text{расч}} > 3$, то периодическая слагающая тока К.З. постоянна

$$I''_{k-3\text{сист}} = I_{k-3\text{сист}}^{0.2} = I_{k-3\text{сист}} = 10.8\text{кА} .$$

Ударный ток К.З. в точке от синхронных двигателей

$$S_{\Sigma} = 21.8 \text{ МВА.}$$

Расчетное сопротивление

$$x_{*\text{расч}} = 11.47 \frac{21.8}{1000} = 0.25 .$$

Ударный ток в точке к-3 двигателя

$$S_{k-3\text{двиг}} = \frac{1000}{11.47} = 87 \text{ МВА.}$$

Суммарный ток К.З. точки к-3

$$I_{k-3} = I_{k-3\text{сист}} + I_{k-3\text{двиг}} = 10.8 + 7.2 = 18 \text{ кА.}$$

Базисные величины принимаем те же, что и для точек 1-3:

$$U_6 = 6.3 \text{ кВ;}$$

$$I_6 = 92 \text{ кА;}$$

$$S_6 = 1000 \text{ МВА.}$$

Сопротивление элементов схемы замещения

$$x_2 = 0.4 \cdot 4 \frac{1000}{115^2} = 0.121.$$

Сопротивление кабелей

$$x_2 = 0.4 \cdot 4 \frac{1000}{6.3^2} = 0.91;$$

$$x_2 = 0.08 \cdot 0.12 \frac{1000}{6.3^2} = 0.242;$$

$$x_2 = 0.08 \cdot 0.15 \frac{1000}{6.3^2} = 0.245;$$

$$x_2 = 0.08 \cdot 0.1 \frac{1000}{6.3^2} = 0.222.$$

Сопротивление реактора

$$x_8 = x_{\text{рез}} = \frac{S_6 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_H \cdot U_6^2} = 0.1 \frac{1000 \cdot 6}{1.73 \cdot 0.7 \cdot 6.3^2} = 13.7;$$

$$x_{10} = x_*'' \cdot \frac{S_6}{S_H} = 0.193 \cdot \frac{1000 \cdot 0.9}{2.5} = 68.5;$$

$$x_6 = x_*'' \cdot \frac{S_6}{S_H} = 0.143 \cdot \frac{1000 \cdot 2.5}{0.4} = 314.$$

Преобразуем схему 1 в схему 2, представленная на рисунке 6

$$x_{11} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 0.4 + 0.121 + 7.15 + 0.91 = 8.581;$$

$$x_{12} = x_5 + x_6 = 0.25 + 314 = 314.25;$$

$$x_{14} = x_8 + x_9 + x_{10} = 13.17 + 0.222 + 68.5 = 82.45.$$

Преобразуем схему 2 в схему 3, представленная на рисунке 6

$$x_{16} = \frac{x_{12} \cdot x_{14}}{x_{12} + x_{14}} = \frac{314 \cdot 82.42}{314 + 82.42} = 65.5.$$

Преобразуем схему 3 в схему 4, представленная на рисунке 6

$$x_{17} = x_{13} + x_{15} + \frac{x_{13} \cdot x_{15}}{x_{16}} = 0.242 + 8.56 + \frac{0.242 \cdot 8.56}{65.5} = 8.85;$$

$$x_{18} = x_{13} + x_{16} + \frac{x_{13} \cdot x_{16}}{x_{15}} = 0.242 + 65.5 + \frac{0.242 \cdot 65.5}{246} = 72.142.$$

Результирующие сопротивления от схемы

$$x_* = x_{17} = 2.581;$$

$$x_* = 2.581 \frac{2000}{1000} = 4.6 > 3.$$

Среднее напряжение ступени К.3.:

$$U_{\text{ср}} = U_6 = 6.3 \text{кВ};$$

$$I_6 = 92 \text{кА}.$$

Трехфазный ток определяем по формуле

$$I''_{k-4\text{сист}} = \frac{I_6}{x_{\text{рез}}} = \frac{92}{8.85} = 10.4 \text{кА}.$$

Так как $x > 3$, то периодическая слагаемая во времени изменяться не будет

$$I_{k-4 \text{ 0.2сист}} = 10.4 \text{кА};$$

$$I_{k-4\text{сист}}^{\infty} = \frac{1000}{8.5} = 113 \text{МВА}.$$

Определяем ток к-3, в точке к-4 от синхронных двигателей:

$$s \sum_{\text{двиг}} = 2.9 \text{МВА};$$

$$x_{*\text{расч}} = 72.142;$$

$$\frac{2.9}{1000} = 0.21 < 3;$$

$$I''_{k-4\text{двиг}} = 1.47.$$

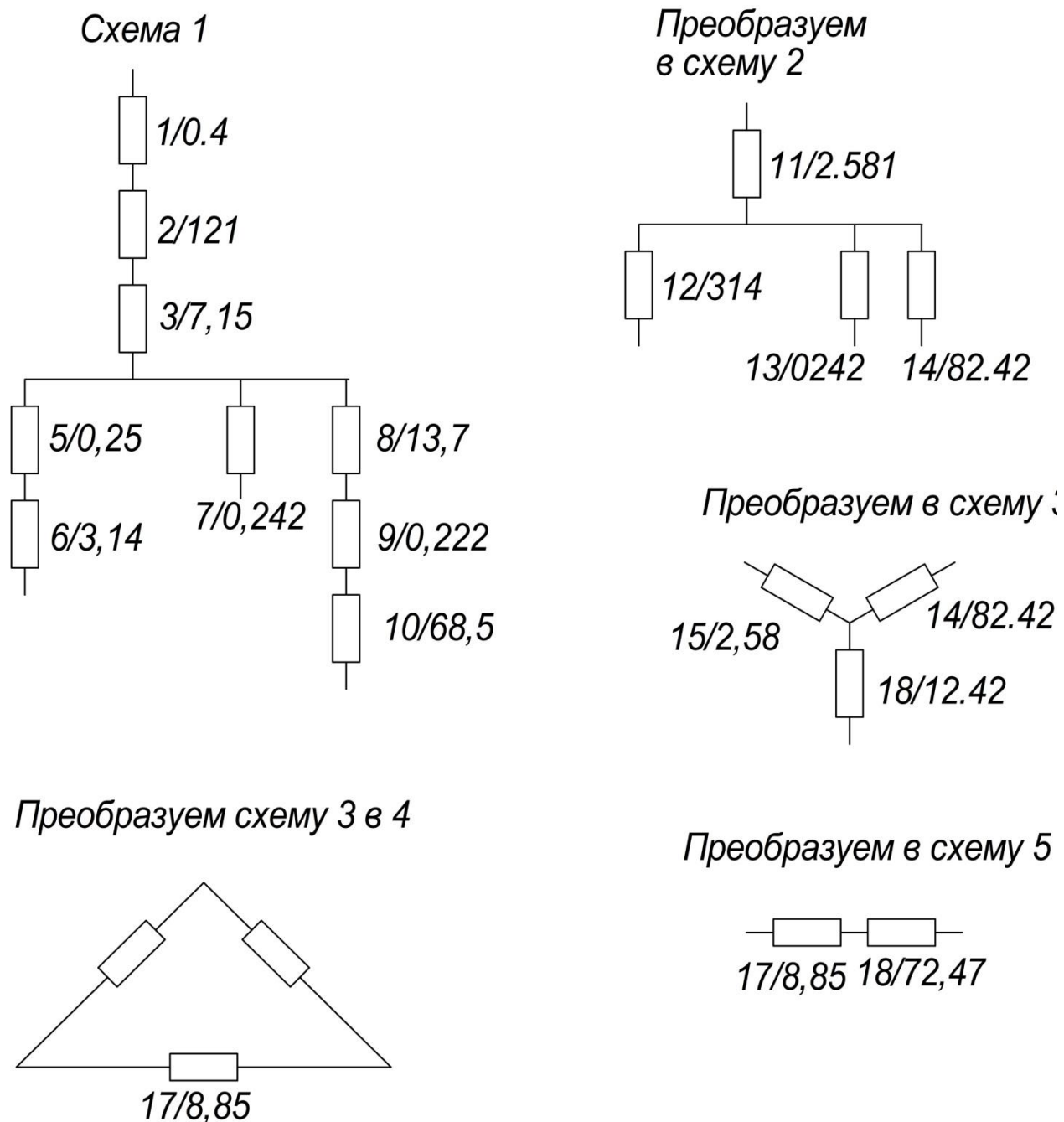


Рисунок 4 – Расчет токов короткого замыкания в точке к-4

Ударный ток в точке к-4

$$I_{k-4\text{удар}} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 1.47 = 3.74 \text{ кА.}$$

Мощность К.З. в точке к-4 от двигателя

$$S_{k-4\text{двиг}} = \frac{1000}{72 \cdot 142} = 13.9 \text{ МВА.}$$

Суммарный ток короткого замыкания в точке к-4

$$S''_{k-4} = 10.4 + 1.47 = 11.87 \text{кА};$$

$$I_{k-4}^{0.2} = 10.4 \text{кА};$$

$$I_{k-4\infty} = 10.4 \text{кА}.$$

Суммарная мощность К.З. в точке к-4

$$S_{k-4} = 113 + 13.9 = 126.9 \text{МВА}.$$

5 Выбор электрических аппаратов на стороне 110кВ и 6кВ

5.1 Выбор выключателя 110 кВ

Расчетный ток продолжительного режима с учетом 40% перегрузки

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S_{T \text{ ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 70 \text{ А} .$$

Выбор выключателей производится согласно следующим параметрам:

- 1) Номинальное напряжение

$$U_{\text{уст}} = 110 \leq U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ} .$$

- 2) Номинальный ток

$$I = 70 \leq I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А} .$$

- 3) Отключающая способность

- на симметрический ток отключения

$$I_{n,\tau} = 8,916 \text{ кА} < I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА} .$$

-на отключение периодической составляющей тока К.З.:

$$\tau = t_{pz} + t_{св} = 0,01 + 0,035 = 0,045 \text{ с};$$

$$i_{a,\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 40 = 19,8 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 10,53 \cdot e^{-\frac{0,045}{0,045}} = 5,5 \text{ кА} .$$

4)Предельный сквозной ток К.З. – на электродинамическую стойкость:

$$I_{n,o} = 8,916 \text{ кА} \leq I_{прс} = 40 \text{ кА};$$

$$i_{y\delta} 22,95 \text{ кА} \leq i_{прс} = 100 \text{ кА} .$$

5) Тепловой импульс – на термическую стойкость:

$$B_k = 8,916^2 \cdot 0,065 + 0,045 = 8,19 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\text{ном}} = I_{\text{тер}}^2 \cdot t_m = 40^2 \cdot 0,065 = 104 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$B_k = 8,19 < B_{\text{к.ном}} = 104.$$

Все каталожные и расчетные величины сведены в таблице 4.

Выбираем элегазовый выключатель ВГТ-110П- 40/2500 производителя ООО “ХК Уралэлектротехника”

Таблица 4- Выключатель ВГТ-110П- 40/2500

Выключатель ВГТ-110П- 40/2500	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 70 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$I_{\text{n,o}}^3 = 8,916 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном.}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\alpha,\tau} = \bar{2} \cdot I_{\text{n,o}} \cdot e^{-\tau/T_a} = 5,5 \text{ кА}$	$i_{\alpha,\text{ном}} = 19,8 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 22,95 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 100 \text{ кА}$
$B_k = 8,916 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к.ном}} = 104 \text{ кА}$

5.2 Выбор разъединителей 110 кВ

Для этой схемы предлагаем РДЗП-110/1000УХЛ1 продукции компании ЗАО «ПермЭнергоСтройКомплект» (двухполюсный разъединитель с заземляющими ножами и пневматическим приводом)

Выбор разъединителей производится согласно следующим параметрам:

- 1) Номинальное напряжение

$$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ}.$$

- 2) Номинальный ток

$$I_{\text{ном.сети}} = 70 \leq 1000 \text{ А}.$$

3) Предельный сквозной ток К.З. - на электродинамическую стойкость

$$I_{уд} = 22.95 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 80 \text{ кА} .$$

4) Тепловой импульс – на термическую стойкость

$$B_{ном} = I_{тер}^2 \cdot t_m = 25^2 \cdot 8.916 = 5572 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} ;$$

$$B_k = 8.916 \leq B_{к.ном} = 5572 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} .$$

Все каталожные и расчетные величины сведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры разъединителя РДЗП-110/1000УХЛ1

РДЗП-110/1000УХЛ1	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 70 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$i_{уд} = 22.95 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 80 \text{ кА} i_{пр.с} = 63 \text{ А}$
$B_k = 8.916 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{к.ном} = 5572 \text{ кА}$

Данный разъединитель РДЗП-110/1000УХЛ1 отвечает расчетным данным.

5.3 Выбор трансформатора тока 110 кВ

Устанавливаем трансформатор тока ТОЛ – 110 У1 производства ЗАО «Электроцит».

Трансформатор тока выбирается по следующим параметрами:

1) Номинальному напряжению

$$U_{уст} = 110 \leq U_{ном} = 110 \text{ кВ} .$$

2) Номинальному длительному току

$$I_{\text{норм}} = 70 \leq I_{\text{ном}} = 300 \text{ А} .$$

3) Вторичной нагрузке

Таблице 6 – Данные приборов

Прибор	Тип	S прибор(В· А)
Амперметр	Э-377	0.1

Сопротивление приборов

$$r_{\text{приб}} = \frac{\sum_{\text{приб}}^S}{I_2^2} = \frac{0.1}{5^2} = 0.004 \text{ Ом} ,$$

где: I_2 является вторичным номинальным током прибора;

$\sum_{\text{приб}}^S$ – мощностью, потребляемой приборами.

$$z_{\text{проб}} = 1.2 - 0.004 - 0.1 = 1.096 \text{ Ом} ,$$

где: $r_k = 0.1 \text{ Ом}$ является переходным сопротивлением контактов.

$$S_{\text{дон}} = \frac{\rho \cdot l}{z_{\text{пер}}} = \frac{0.0283 \cdot 65}{1.096} = 1.678 \text{ мм}^2 .$$

Принятое сечение алюминиевых проводов 2.5 мм^2 .

После проведения расчетов выбираем трансформатор ТОЛ-110 У1.

5.4 Выбор гибких шин 110 кВ

Выбираем продукцию АС предприятия ЗАО “Арматурно-изоляторный завод”

Сечение гибких шин выбирается по следующим параметрам.

1) Экономической плотности тока

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{i_{\text{ЭК}}} = \frac{70}{1.1} = 63 \text{ мм}^2,$$

где: $i_{\text{ЭК}}=1.1(\text{А/мм}^2)$ – для алюминиевых проводников согласно ПУЭ.

2) Проверка на условия коронирования:

$$1.07 \cdot E \leq 0.9 \cdot E_0;$$

$$E_0 = 24.8 \cdot 1 + \frac{0.299}{1.08} = 31.94 \text{ кВ/см};$$

$$E = 0.354 \frac{U_{\text{ном}}}{r_0 \log \frac{D_{\text{ср}}}{r_0}} = 13.53 \text{ кВ/см}.$$

По результата выбираем АС – 150.

Для защиты от перенапряжения выбираем ОПН-110У1.

5.5 Выбор аппаратов на стороне 6 кВ

Выбор оборудования на 10кВ выполняется совместно с выбором типа КРУ компании ЗАО «ЭЛЕКТРОЦИТ»

Предварительно выбираем ячейки типа К-104, номинальные данные сведены в таблице 7

Таблица 7- Технические данные ячейки К-104

К-104	
Наименование параметра	Значение
$U_{\text{ном}}$	10КВ
$I_{\text{н}}$	1600 А
$I_{\text{н.отк.}}$	20 кА
$I_{\text{тер.ст.}}$	31,5 кА
$I_{\text{эд.ст}}$	81 кА
Тип выключателя	ВВ/TEL – 10
Трансформатор тока	ТОЛ-10
Трансформатор напряжения	ЗНОЛП-10УТ2

Проверка оборудования, установленных в ячейках КРУ К-104.

$$I_{max} = 1.4 \cdot \frac{S_{T.НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1.4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 810 \text{ A.}$$

5.6 Проверка выключателя на стороне 6 кВ

Выключатель ВВ/TEL – 10 – 20/1000 У2 проверяется согласно следующим характеристикам.

- 1) Номинальное напряжение

$$U_{уст} = 10 \leq U_{НОМ} = 10 \text{ кВ .}$$

- 2) Номинальный ток

$$I = 810 \leq I_{НОМ} = 1000 \text{ А .}$$

- 3) Отключающая способность

- на симметричный ток отключения

$$I_{н\tau} = 9.84 \leq I_{откл.ном} = 20 \text{ кА .}$$

- на отключение апериодической составляющей тока к.з.

$$\tau = t_{p.з} + t_{c.б} = 0.01 + 0.015 = 0.025 \text{ сек ,}$$

где: $i_{a.\tau}$ является номинальным допустимым значением апериодической составляющей в отключаемом токе для времени τ ;

$t_{p.з}=0.01$ с. является временем действия релейной защиты;

$t_{c.б}=0.015$ с. – собственным временем отключения выключателя.

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 9.84 \cdot e^{-\frac{0.025}{0.02}} = 4 \text{ кА ,}$$

где: $T_a = 0.02$ является постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ;

$\beta_{ном} = 0.25$ – номинальным значением относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе.

$$i_{a.ном} = \bar{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{откл.ном} = \bar{2} \cdot 0.25 \cdot 20 = 7.07 \text{ кА};$$

$$i_{a.т} = 4 \leq i_{a.ном} = 7.07 \text{ кА} .$$

4) Предельный сквозной ток к.з. – на электродинамическую стойкость

$$I_{п.0} = 7.07 \leq I_{пр.с} = 20 \text{ кА} ,$$

где: $I_{пр.с} = 20 \text{ кА}$ является предельно сквозным током (выбирается из справочника);

$I_{п.0} = 7.07$ – наибольшим начальным действующим значением переодической составляющей тока к.з.;

$$i_{уд} = 26.71 \leq i_{пр.с} = 52 \text{ кА} .$$

5) Тепловой импульс – на термическую стойкость

$$B_k = I_n^2 \cdot t = 7.07^2 \cdot 0.025 = 1.24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} .$$

$$B_{ном} = I_{тер}^2 \cdot t_m = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} ,$$

где: I_T является предельным током термической устойчивости (по справочнику);

t_T – длительностью протекания тока термической устойчивости.

$$B_k = 3 \leq B_{ном} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} .$$

Расчетные и каталожные данные выключателя и трансформатора тока сведены в таблицу 8

Таблица 8 – Характеристика выключателя ВВ/TEL – 10 – 20/1000

ВВ/TEL – 10 – 20/1000	
Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.НОМ}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 810 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$
$I_{n,o}^3 = 9.84 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.НОМ.}} = 20 \text{ кА}$
$I_{n,o} = 7.07 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 26.7 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 52 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 1.24 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{В}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = 20^2 \cdot 0.2 = 80 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

По приведенным выше расчетам выбираем выключатель ВВ/TEL – 10 – 20/1000 У2 компании «Таврида Электрик»

5.7 Проверка трансформатора тока

Проверка трансформатора тока ТОЛ-10 производится согласно следующим параметрам:

- 1) Номинальное напряжение

$$U_{\text{уст}} = 10 \leq U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ} .$$

- 2) Номинальный длительный ток

$$I_{\text{max}} = 810 \leq I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А} .$$

- 3) Электродинамическая стойкость

$$i_{\text{уд}} = 17.26 \text{ кА} ;$$

$$i_{\text{у}} = 17.26 \leq I_{\text{эд}} = 144 \text{ кА} ;$$

$$I_{\text{эд}} = k_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ}} = 102 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 = 144 \text{ кА} .$$

- 4) Тепловой импульс – на термическую стойкость:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{н}}^2 \cdot t = 17.26^2 \cdot 0.06 = 17.87 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} ;$$

$$K_m^2 \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot t_T = 40^2 \cdot 1 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где: t_T является длительностью протекания тока термической устойчивости .

$$B_K = 17.87 \leq I_{\text{тер}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} .$$

5) Вторичная нагрузка

На стороне 10 кВ

Контроль работы двухобмоточного трансформатора осуществляется с помощью комплекта, в состав которого входят :

- амперметр;
- ваттметр;
- варметр;
- счетчик активной энергии;
- счетчик реактивной энергии.

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\Sigma \text{пр}}}{I_2^2} = \frac{6.1}{5^2} = 0.244 \text{ Ом},$$

где: I_2 является вторичным номинальным током прибора;

$S_{\Sigma \text{пр}}$ - мощностью, потребляемой приборами.

Подсчет нагрузки приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Данные приборов

Прибор	Тип	S прибора(В·А)
Амперметр	Э – 377	0.1
Ваттметр	Д – 305	0.5
Варметр	Д – 305	0.5
Счетчик активной энергии	САЧУ – И672М	2.5
Счетчик реактивной энергии	СРЧУ – И673М	2.5
$S_{\Sigma \text{пр}} = 6.1 \text{ В·А}$		

$$z_{\text{пров}} = 0.6 - 0.224 - 0.1 = 0.256 \text{ Ом},$$

где: $r_k = 0.1$ Ом – переходного сопротивления контактов.

$$q = \frac{0.0283 \cdot 45}{0.256} = 4.97 \text{ мм}^2.$$

Принятое сечение алюминиевых проводов 6 мм^2

По приведенным выше расчетам выбираем трансформатор тока ТОЛ-10/1000 УЗ.

5.8 Проверка трансформатора напряжения.

Проверяем трансформатор напряжения ЗНОЛП-6 УХЛ2 по следующим параметрам.

- 1) Номинальному напряжению

$$U_{\text{уст}} = 10 \leq U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}.$$

Характеристики трансформатора напряжения ЗНОЛП-6 УХЛ2 приведены в таблице 10

Таблица 10 – Данные приборов

Прибор	Тип	S прибора(В·А)
Вольтметр	Э - 377	2
Вольтметр фазный	Э – 377	2
Ваттметр	Д – 305	0.5
Варметр	Д – 305	0.5
Счетчик активной энергии	САЧУ – И672М	2.5 x 3шт = 7.5
Счетчик реактивной энергии	СРЧУ – И673М	2.5 x 2шт = 5
$S_{\Sigma пр} = 17.5 \text{ В}\cdot\text{А}$		

2) Вторичной нагрузке

$$S_{\Sigma пр} = 17.5 \leq S_{ном} = 75 \text{ В}\cdot\text{А} ,$$

где: $S_{\Sigma пр}$ является нагрузкой всех измерительных приборов и реле, сопряженных с трансформатором напряжения.

Выбор трансформатора напряжения ЗНОЛП-6 УХЛ2 согласно техническим параметрам.

Для защиты от перенапряжения выбираем на 6 кВ ОПН - 10

6 Расчет релейной защиты

6.1 Релейная защита от понижений масла и от повреждений кожуха

Газовый вид защиты, работает при излишнем снижении уровня масла, даёт реакцию на образуемый газ, сопровождающий повреждение внутри кожуха трансформатора, в отсеке переключения отпаек устройства регулирования коэффициента трансформации. Главной составляющей в релейной защите являются газовые реле. Защита работает в прямой зависимости от напряженности газообразования на сигнал или на отключение при присутствии двух контактов газового реле. Типовыми схемами защиты рассчитываются согласно условиям ПЭУ вероятность перемещения деятельности отключающего контакта газового реле (кроме реле отсека РПН) на сигнал и осуществление отдельной сигнализации от сигнального и отключающего контактов реле. Газовое реле отсека РПН должно работать лишь на отключение. При осуществлении газовой защиты с действием на отключение выполняются меры для достоверного отключения выключателей трансформатора при кратковременном замыкании данного контакта газового реле. Газовая защита зафиксирована на трансформаторах ГПП. Защита от повреждений внутри кожуха трансформатора, сопровождающихся выделением газа, осуществляется и с взаимодействием с реле давлением, а защита от понижения уровня масла - реле уровня в расширителе трансформатора.

6.2 Защита от повреждений на выводах и от внутренних повреждений трансформатора

Применяем продольную дифференциальную токовую защиту, осуществляющуюся без выдержки времени на отключение поврежденного

трансформатора от неповрежденной части электрической системы с помощью выключателя. Такая защита осуществляется при помощи реле тока, обладающих усовершенствованной отстройкой от бросков, намагничивающего тока, переходных и установившихся токов небаланса. В соответствии с условиями применяем реле торможения типа ДЗТ-11. Данная защита с реле ДЗТ-11 работает так, чтобы при внутренних повреждениях трансформатора торможение было минимальным или совсем не было. Именно из-за этого тормозная обмотка реле в основном подключается к трансформаторам тока, установленных на стене низшего напряжения трансформатора. Рассчитаем продольную дифференциальную токовую защиту трансформаторов ПГВ, выполненной с реле типа ДЗТ-11. Выявляем первичные токи для всех сторон защищаемого трансформатора, соответствующие его номинальной мощности

$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.СР}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50.2 \text{ А},$$

где: $S_{\text{НОМ}}$ - номинальная мощность защищаемого трансформатора, кВА.

$U_{\text{НОМ}}$ - номинальное напряжение соответствующей стороны, кВ.

Для низшей стороны напряжения

$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.НН}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 916.4 \text{ А}$$

Принимаем трансформаторы тока с $n_{\text{ТВН}} = 150/5$ и $n_{\text{ТНН}} = 1500/5$.

Схемы соединения трансформаторов тока следующие: на высшей стороне , а на низшей стороне - Y.

Определим соответствующие вторичные токи в плечах защиты

Для высшей стороны напряжения

$$I_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ,Т}} \cdot K_{\text{СХ}}}{n_{\text{Т}}} = \frac{50.2 \cdot \sqrt{3}}{10} = 8.69 \text{ А}.$$

где $K_{СХ}$ - коэффициент схемы включения реле защиты, которой согласно для ВН равен , для НН-1

Для низкой стороны напряжения

$$I_{НН} = \frac{S_{НОМ,Т} \cdot K_{СХ}}{n_T} = \frac{916.4 \cdot 1}{200} = 4.58 \text{ А.}$$

Выберем сторону, к трансформаторам тока которой целесообразно присоединить тормозную обмотку реле. Первичный минимальный ток срабатывания защиты определяется из условия отстройки от броска тока намагничивания.

$$I_{СЗ} = 1.5 \cdot 50.2 = 75.3 \text{ А,}$$

где $K_{отс} = 1,5$ - коэффициент отстройки.

Расчетный ток срабатывания реле

$$I_{СР} = \frac{I_{СЗ} \cdot K_{СХ}}{n_T} = \frac{75.3 \cdot \sqrt{3}}{10} = 13 \text{ А.}$$

Расчетное число витков рабочей обмотки реле, включается в плечо защиты со стороны ВН

$$W_{ВН.РАСЧ} = \frac{F_{СР}}{I_{СР}} = \frac{100}{13} = 7.7 ,$$

где $F_{СР} = 100$ - магнитодвижущая сила срабатывания реле, А.

Согласно условию $W_{ВН} \leq W_{ВН \text{ расч}}$ принимаем число витков $W_{ВН} = 8$, что соответствует минимальному току срабатывания защиты

$$I_{СЗ} = \frac{F_{СР} \cdot n_{Т.ВН}}{W_{ВН} \cdot K_{СХВН}} = \frac{100 \cdot 50/5}{8 \cdot \sqrt{3}} = 82.4 \text{ А.}$$

Расчетное число витков рабочей обмотки реле, включаемых в плечо защиты со стороны НН

$$W_{\text{ВН.РАСЧ}} = \frac{W_{\text{ВН}} \cdot I_{\text{ВН}}}{I_{\text{НН}}} = \frac{7 \cdot 8.69}{4.5} = 13.28 .$$

Принимаем ближайшее к $W_{\text{НН расч}}$ целое число, т.е. $W_{\text{НН}} = 17$.

Определим расчетное число витков тормозной обмотки, включаемых в плечо защиты со стороны НН

$$W_{\text{Трасч}} == 0.1 + 0.16 + \frac{13 - 13.28}{13.28} \cdot \frac{1.5 \cdot 13}{0.75} = 6.2 ,$$

где $= 0,1$ - относительное значение полной погрешности трансформатора тока;

Δu - относительная погрешность, обусловленная РНП, принимается равный половине суммарного диапазона регулирования напряжения;

α - угол наклона касательной к горизонтальной характеристике реле типа ДЗТ-11, $\text{tg } \alpha = 0,75$. Для ТН-10000-110 $\Delta u = 0,16$.

В тормозной обмотке реле ДЗТ-11 принимаем число витков $W_{\text{T}} = 7$.

Определим чувствительность защиты при металлическом КЗ в защищаемой зоне, когда торможение отсутствует. Для этого определим ток КЗ между двумя фазами на стороне НН трансформатора

$$I_{\text{К-2}}^3 = 8.58 \cdot \frac{6.3}{115} = 0.47 \text{кА};$$

$$I_{\text{К-2}}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0.47 = 407 \text{А}.$$

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{407 \cdot \sqrt{3}}{82.4 \cdot \frac{3}{3}} = 5 > 2, \text{ что удовлетворяет условиям.}$$

Определяем чувствительность защиты при КЗ в защищаемой зоне, когда имеется торможение. Вторичный ток, подводимый к рабочей обмотке реле

$$I_{\text{РАБ.Р}} = \frac{I_{\text{К}}^2 \cdot K_{\text{сxBH}}}{n_{\text{Т.ВН}}} = \frac{407 \cdot \sqrt{3}}{10} = 70.5 \text{ А.}$$

Второй ток, подводимый к тормозной обмотке

$$I_{\text{ТОР.Р}} = \frac{I_{\text{К}}^2 \cdot K_{\text{сxBH}}}{n_{\text{Т.НН}}} = \frac{407 \cdot 1}{200} = 2 \text{ А;}$$

$$F_{\text{ТОР}} = 2.1 \cdot 7 = 14.7 \text{ А.}$$

По характеристике срабатывания реле, приведенной в , графически определяем рабочую МДС срабатывания реле: $F_{\text{CP}} = 100 \text{ А.}$

Тогда коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{493}{100} = 4.93 > 1.5, \text{ что удовлетворяет условиям.}$$

7 Безопасность и экологичность при работе в испытательном центре

7.1 Описание оборудования

На испытательной станции есть оборудования поля №1,2,3,4,5,21, которые делают возможным проведение предварительных контрольных и типовых испытаний трансформаторов от 2500МВА до 400мва.

Каждое поле это совокупность испытательных трансформаторов типа ТРДЦТИ (трехфазный, масляный с дутьем и принудительной циркуляцией масла, трехобмоточный, испытательный трансформатор) масляные выключатели типа МВ и множества разъединителей типа РФВ 10/600 и РВ. Для испытаний повышенным напряжением и высоковольтных испытаний используются генераторы большой мощности.

Распределительное устройство выполнено открытого типа, с разным количеством коммутационных устройств.

7.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов

В процессе работы могут повлиять следующие опасные и вредные производственные факторы , которые могут привести к несчастному случаю на природе:

- повышенная или пониженная температура воздуха при выполнении испытаний вне помещений;
- значение повышенного напряжения в электрической цепи замыкания, проходящее через тело человека приближенного на расстояние менее допустимого к незаизолированным токоведущим частям и элементам оборудования, находящимся под напряжением, а также при перемещении в зонах растекания тока замыкания на землю и наведенного напряжения;

- недостаточная освещенность рабочей зоны при работе в помещениях, на улице в темное время суток и аварийных ситуациях, в случае отсутствия напряжения в сети освещения;

- расположение элементов оборудования, используемых для испытаний и измерений на значительной высоте относительно поверхности земли, пола.

7.3 Расчет заземления ГПП110/10 кВ.

Заземляющее устройство для установок 110 кВ и выше выполняется из вертикальных заземлителей (стальных прутков круглого сечения); соединенных полос; полос, расположенных вдоль рядов оборудования и выравнивающих полос, проложенных в поперечном направлении; и создающих заземляющую сетку в переменном шаге. Схема заземления представлена на рисунке 3.

Длительность воздействия:

$$\tau = t_{p.з} + t_{o.в} = 0.12 + 0.06 = 0.18;$$

$$\beta = \frac{R_q}{R_c + R_c} = \frac{500}{1000 + 1.5 \cdot \rho_{вс}} = 0.46,$$

где: $R_q=1000\text{Ом}$, $R_c = 1.5 \cdot \rho_{вс}$;

$\rho_{вс}$ - удельное сопротивление верхнего слоя земли, принимаем

$$\rho_{вс} = \rho_э = 200\text{Ом} \cdot \text{м}.$$

Коэффициент напряжения прикосновения

$$k_{\Pi} = \frac{M\beta}{\frac{l_B L_{\Gamma}}{a S}^{0.45}} = \frac{0.5 \cdot 0.93}{\frac{5 \cdot 128}{5 \cdot 240}^{0.45}} = 0.056;$$

$$U_3 = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{k_{\Pi}} = \frac{400}{0.056} = 7142.86 \text{ В, что в пределах допустимого.}$$

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3} = \frac{7142.86}{1415.8} = 5.05 \text{ Ом.}$$

Расчетная модель заземлителя представляет собой квадрат со стороной

$$\bar{S} = \sqrt{12 \cdot 20} = 15.49\text{м.}$$

Число ячеек по сторонам квадрата

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2 \cdot \bar{S}} - 1 = 3.1.$$

Принимаем $m=3$.

Длина полос в расчетной модели

$$L'_{\Gamma} = 2 \cdot \bar{S} \cdot m + 1 = 2 \cdot 15.5 \cdot 4 = 124 \text{ м.}$$

Длина сторон ячейки:

$$b = \frac{\bar{S}}{m} = \frac{15.5}{3} = 5.17\text{м}$$

$$\frac{a}{l_{\text{В}}} = \frac{5}{5} = 1$$

$$n_{\text{В}} = \frac{\bar{S} \cdot 4}{1 \cdot l_{\text{В}}} = 12.$$

Общая длина вертикальных заземлителей

$$L_{\text{В}} = l_{\text{В}} \cdot n_{\text{В}} = 5 \cdot 12 = 60\text{м.}$$

Относительная глубина погружения вертикальных электродов:

$$\frac{l_{\text{В}} + t}{\bar{S}} = \frac{5 + 0.7}{15.5} = 0.368 > 1;$$

$$A = 0.137 - 0.25 \cdot 0.108 = 0.110.$$

Общее сопротивление сложного заземлителя

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\bar{S}} + \frac{\rho_3}{L'_{\Gamma} + L_{\text{В}}} = 0.110 \frac{52}{15.5} + \frac{52}{340 + 60} = 0.490\text{м.}$$

Напряжение прикосновения

$$U_{\text{пр}} = k_{\text{П}} I_3 R_3 = 0.056 \cdot 1415.8 \cdot 0.49 \\ = 38.84 \text{В, что удовлетворяет условию } 38,8 \text{В} < 400 \text{В.}$$

7.4 Молниезащита на подстанциях

Устройство, которое защищает от прямых ударов молнии (молниеотводы) – комплекс, включающий молниеприемники, токоотводы и заземлители. Молниеприемник – часть молниеотвода, с помощью которой осуществляется отвод тока молнии от молниеприемника к заземлителю. Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Выбираем одиночный стержневой молниеотвод.

Параметры молниезащиты

$h=30$ – полная высота стержневого молниеотвода, м

$h_0 - 25.5$ – высота вершины конуса стержневого молниеотвода, м

$h_x - 15$ высота защищаемого сооружения, м

r_0, r_x - радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения, м

$$r_0 = 1.2 \cdot 30 = 36 \text{м.}$$

Максимальная полуширина зоны r_x в горизонтальном сечении на высоте h_x

$$r_x = \frac{r_0 \cdot h_0 - h_x}{h_0} = \frac{36 \cdot 25.5 - 15}{25.5} = 14.8 \text{м.}$$

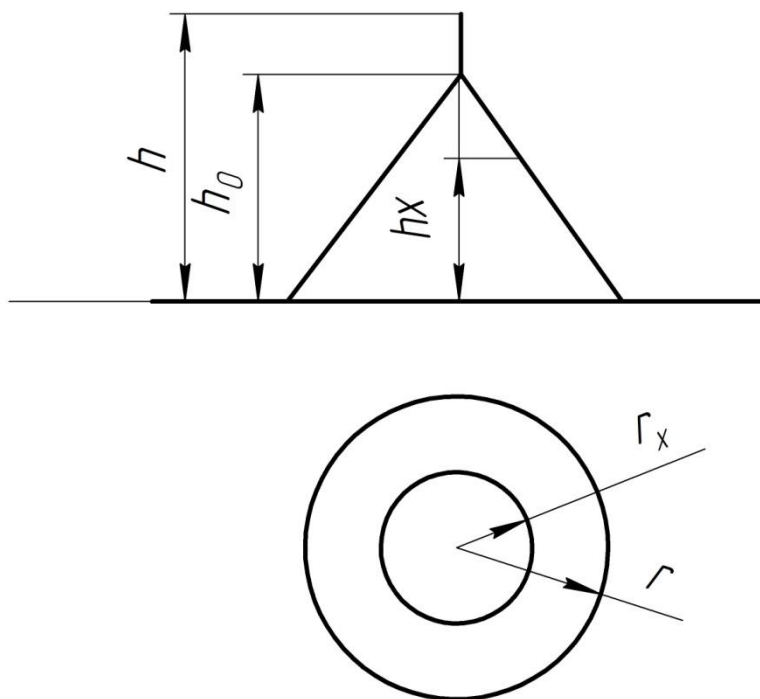


Рисунок 5 – Зона защиты одиночного стержневого молниетвода

Заключение

На основании приведённых расчетов можно сделать вывод о решении поставленных задач.

Рассчитаны электрические нагрузки предприятия, выбраны трансформаторы главной понизительной подстанции.

По технико-экономическим показателям из двух вариантов принимаем для установки на ГПП два трансформатора ТДН 10000/110.

Рассчитаны токи короткого замыкания, выбрано оборудование: выключатели ВГТ-110П-40/2500 и ВВ/TEL-10, разъединители марок РДЗП, приборы учета и контроля, трансформатор тока ТОЛ-110У1 и ТОЛ-6, трансформаторы напряжения ЗНОЛП-6.

Рассчитаны релейной защиты, отвечающая требованиям селективности, надёжность, чувствительности.

Рассмотрены вопросы безопасности и экологичности эксплуатации оборудования, применяется в данном проекте, рассчитано заземление ГПП.

Список используемых источников

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 416 с.
2. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.
3. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2013. - 328 с.
4. Расчёт силовых трансформаторов / П.М. Тихомиров. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 544 с.
5. Инструкция по эксплуатации силовых трансформаторов. - Л.: Энергия, 2012. - 429 с.
6. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения. РД 153-34.0-35.301-2002. - М.: Альвис, 2014. - 136 с.
7. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 352 с.
8. Яхонтова, О. Электроснабжение и электропотребление в строительстве: Учебное пособие / О. Яхонтова, Л. Валенкевич, Я. Рутгайзер. - СПб.: Лань, 2012. - 512 с.
9. Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление в строительстве: Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. - СПб.: Лань, 2012. - 512 с.
10. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. - СПб.: Лань, 2014. - 192 с.
11. Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования. Троицкий А.И. Издательство: Феникс, 2017. – 314с.

12. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 448 с.
13. Гуревич, Ю.Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю.Е. Гуревич, К.В. Кабиков. - М.: Торус Пресс, 2016. - 408 с.
14. Фролов, Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2012. - 480 с.
15. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.К. Полуянович. - М.: Лань, 2012. - 400 с.
16. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения. РД 153-34.0-35.301-2002. - М.: Альвис, 2014. - 136 с.
17. Тихомиров, П.М. Расчёт силовых трансформаторов / П.М. Тихомиров. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 544 с.
18. Трамбицкий, А. В. Расчет трансформаторов / А.В. Трамбицкий. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 382 с.
19. Хорольский, В. Я. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. - М.: Дрофа, 2013. - 288 с.
20. Шеховцов, В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2014. - 136 с.
21. Catalogue. Evolis circuit breakers up to 24 kV [Text] / Schneider Electric Industries. 2014. – URL: http://download.schneider-electric.com/files?&p_File_Name=AMTED307011EN_web.pdf (дата обращения 15.03.17)
22. Ganesan, S. Selection of current transformers & wire sizing in substations [Text] / ABB Inc. 2016. – URL: <http://electrical-engineering->

- portal.com/download-center/books-and-guides/power-substations/current-transformers-wire-sizing (дата обращения 16.03.17)
- 23.Olsen, T. Use of Latched Contactors to Switch Transformers [Text] / Siemens MV. 2012. – URL: <http://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/power-substations/latched-contactors-switch-transformers> (Дата обращения 15.03.17)
- 24.Csanyi, E. Location of Current Transformers in HV Substation [Text] / E. Csanyi // Electrical Engineering Portal. 2014. – URL: <http://electrical-engineeringportal.com/location-of-current-transformers-in-hv-substation> (дата обращения 15.03.17)
- 25.Csanyi, E. Power System Stability [Text] / E. Csanyi // Electrical Engineering Portal. 2010. – URL: <http://electrical-engineering-portal.com/powersystem-stability> (дата обращения 15.03.17).