**Акционерное общество**
**«ИГХолдинг Рус»**
http://www.ighrus.com
СРО-П-161-09092010 от 09.04.2018

# КАМСКАЯ ГЭС

# РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

## РАЗРАБОТКА РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ С ЗАМЕНОЙ ГРЕЙФЕРНЫХ КРАНОВ № 2 И 3 КАМСКОЙ ГЭС

## РЕШЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## 631.03.01-РД.ЭС.ПЗ

2024г

Взам. инв. №
Подпись и дата
Инв. № подл.

**Акционерное общество**
**«ИГХолдинг Рус»**
http://www.ighrus.com
СРО-П-161-09092010 от 09.04.2018

# КАМСКАЯ ГЭС

# РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

## РАЗРАБОТКА РАБОЧЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ С ЗАМЕНОЙ ГРЕЙФЕРНЫХ КРАНОВ № 2 И 3 КАМСКОЙ ГЭС

## РЕШЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## 631.03.01-РД.ЭС.ПЗ

Генеральный директор П.В. Шестопалов

Главный инженер проекта А.С. Березинский

| Изм. | № док. | Подп. | Дата |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

2024

Содержание

1. Цели и задачи ..... 2
2. Объекты и границы проектирования ..... 2
3. Общие положения ..... 3
4. Обоснование выбора мощности преобразующего трансформатора ..... 4
5. Выбор кабелей по номинальному току и падению напряжения ..... 6
6. Выбор кабелей по условиям невозгорания при токах короткого замыкания. ..... 7
7. Дополнительные мероприятия по обеспечению защиты кабелей ..... 16

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

| Изм. | Кол. | Лист | №док | Подпись | Дата | 631.03.01-РД.ЭС.ПЗ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Разработал | | Кудринский | | | | Расчётно-пояснительная записка | Стадия | Лист | Листов |
| Проверил | | | | | | | РД | 1 | 18 |
| ГИП | | Березинский | | | | | АО «ИГХ Рус» Москва 2024 г. | | |

**Заказчик (подразделение Заказчика)**

Публичное акционерное общество «Федеральная гидрогенерирующая компания – РусГидро» (ПАО «РусГидро») (далее – «Заказчик»).

Адрес филиала: Российская Федерация, Пермский край, г. Пермь, ул. Соликамская, д.329, Территория Камской ГЭС

Наименование объекта: Камская ГЭС (филиал ПАО «РусГидро»-«Камская ГЭС»)

**Наименование закупаемой продукции**

«Разработка проектных решений на модернизацию по модернизации с заменой грейферных кранов № 2 и 3 Камской ГЭС Лот № 1-ТПиР-ПИР-2024-КамГЭС»

## 1. Цели и задачи

Целью настоящего документа является обоснование выбора электрооборудования и кабельной продукции для обеспечения работы новых кранов после проведения работ по модернизации с заменой кранового оборудования.

## 2. Объекты и границы проектирования

- Объектами обследования и границы проектирования приняты следующими:
- Щит 500В №1 (Фидер №4) и Щит 500В №2 (Фидер №3)
- Существующие кабельные трассы от щитов 500В №1 и №2 до сборок троллей грейферных кранов 1го и 3го бычков ни отм.110
- Сборки питания троллей грейферных кранов бычков 1 и 3 и секционная сборка бычка 2 на отм.110
- Троллеи грейферных кранов

## 3. Общие положения

Настоящий документ разработан на основании Договора № 1180-339-2023 от 28.12.2023 г. на разработку рабочей документации по модернизации с заменой грейферных кранов № 2 и 3 Камской ГЭС Лот № 1-ТПиР-ПИР-2024-КамГЭС.

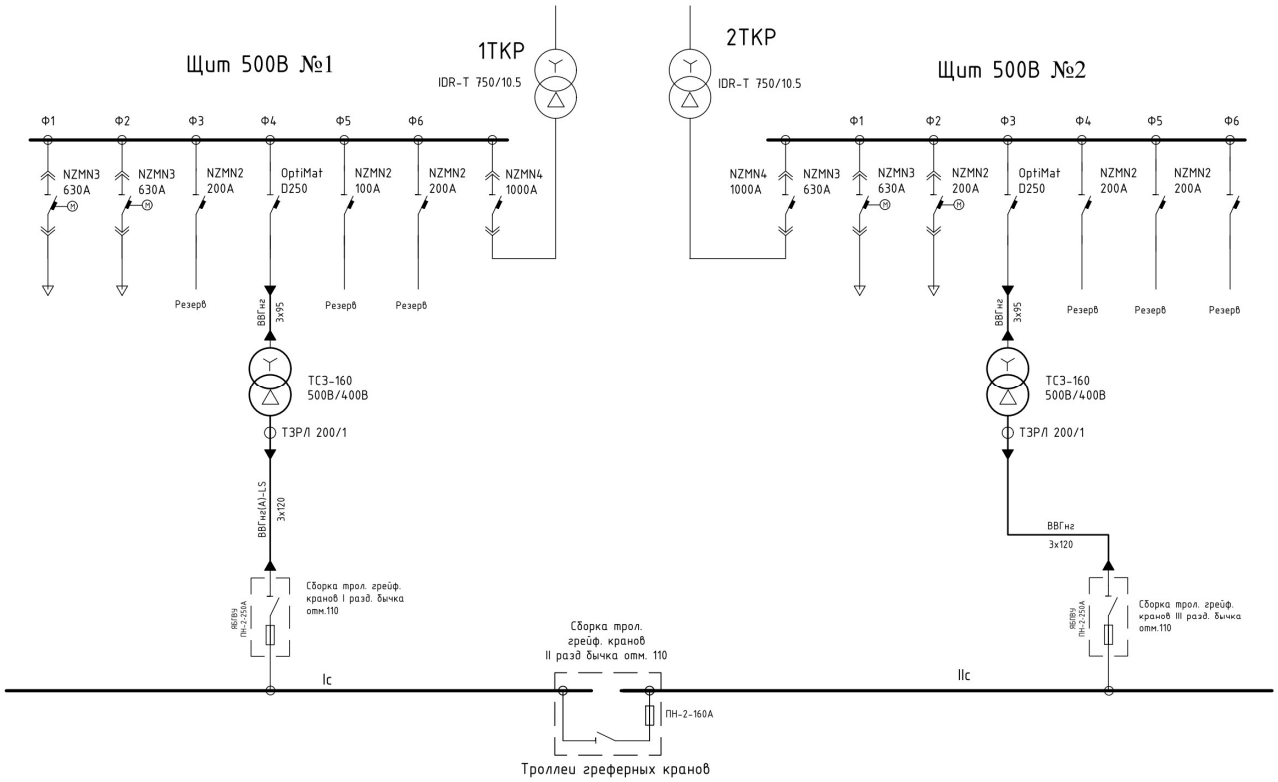
Цели и задачи: обоснование изменений в схеме питания троллей грейферных кранов Камской ГЭС, возникших при разработке проектных решений (стадия Рабочая Документация) на модернизацию грейферных кранов с их заменой в части организации питания новых кранов от существующей на станции системы переменного тока 500В.

В ходе выполнения проектных работ были приняты следующие изменения в схемах питания новых грейферных кранов от существующих щитов 500В:

1. Для питания каждой секции предусмотрен преобразующий трансформатор 500/400В, 160кВА для обеспечения питания новых кранов на напряжении 400В.
2. Предусмотрена замена силовых кабелей питания от секций щитов 500В до преобразующих трансформаторов и от преобразующих трансформаторов до существующих сборок с предохранителями на разделительных бычках 1 и 3.
3. Предусмотрена замена эксплуатируемых автоматических выключателей фидеров №4 Щита №1 500В и №3 щита №2 500В на автоматические выключатели типа OptiMat D250 с термомагнитным регулируемым расцепителем TM250

Схема питания электрооборудования в границах выполнения работ после модернизации приведена на рисунке 1.

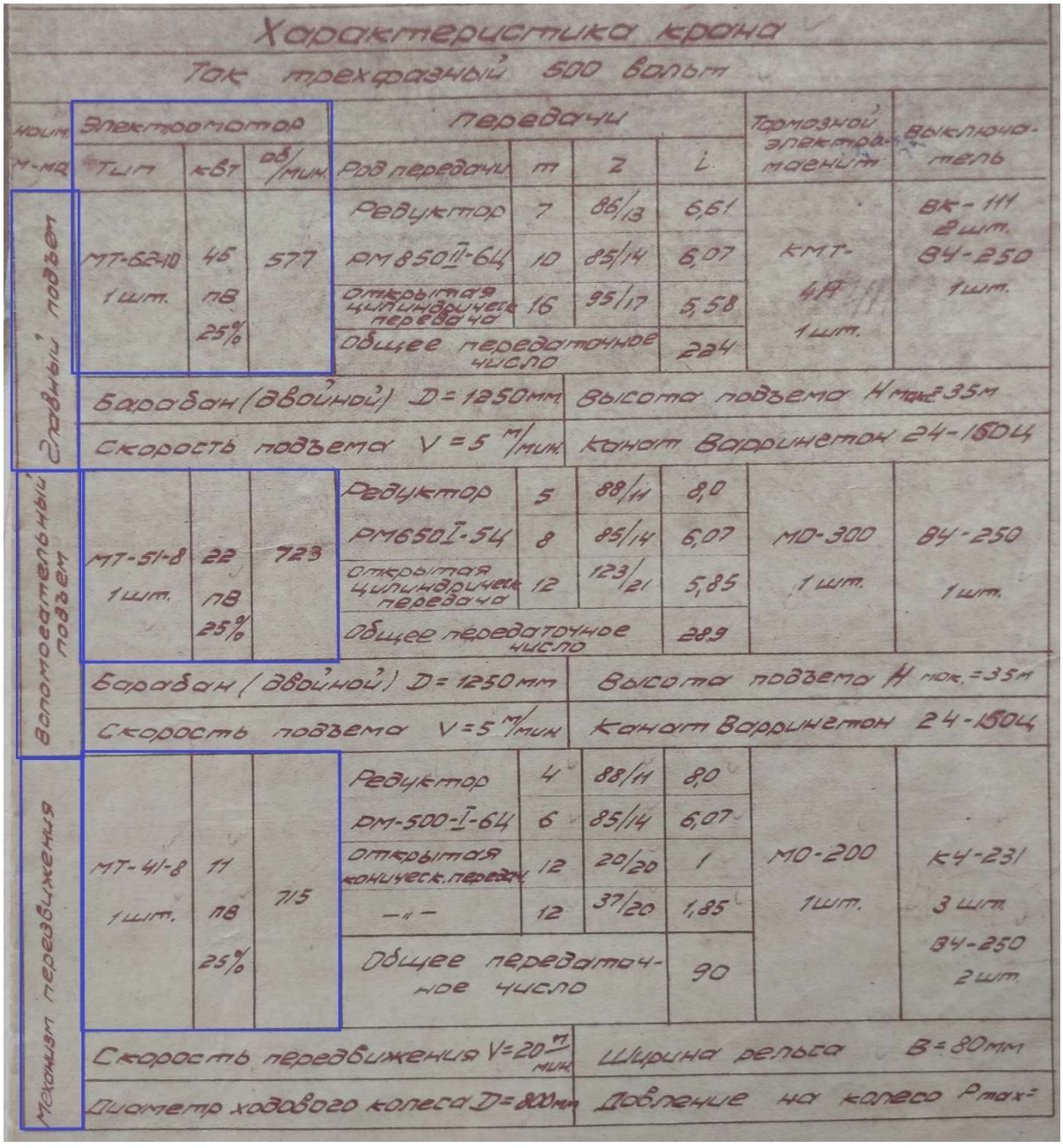
Рисунок 1



## 4. Обоснование выбора мощности преобразующего трансформатора.

На основании того, что в настоящее время отсуствует какая-либо информация о новом крановом оборудовании, а также, на основании данных, представленных в Техническом Задании на выполнение работ по настоящему титулу, выбор параметров преобразующего трансформатора будет выполнен на основании мощности приводов эксплуатируемого грейферного крана.

Ниже приведены паспортные данные эксплуатируемого грейферного крана:



Характеристика крана

Ток трехфазный 500 вольт

| Наим. м-ма | Электромотор: Тип | кВт | об/мин | Передачи: Род передачи | m | Z | i | Тормозной электромагнит | Выключатель |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Главный подъем | МТ-6210 1 шт. | 45 ПВ 25% | 577 | Редуктор РМ 850 II-64 | 7 | 86/13 | 6,61 | КМТ-4А 1 шт. | ВК-111 2 шт. |
| | | | | | 10 | 85/14 | 6,07 | | ВЧ-250 1 шт. |
| | | | | Открытая цилиндрическая передача | 16 | 95/17 | 5,58 | | |
| | | | | Общее передаточное число | | | 224 | | |
| | Барабан (двойной) D = 1250 мм | | | | | | | Высота подъема H max = 35 м | |
| | Скорость подъема V = 5 м/мин | | | | | | | Канат Варрингтон 24-1804 | |
| Вспомогательный подъем | МТ-51-8 1 шт. | 22 ПВ 25% | 723 | Редуктор РМ650 I-54 | 5 | 88/11 | 8,0 | МО-300 1 шт. | ВЧ-250 1 шт. |
| | | | | | 8 | 85/14 | 6,07 | | |
| | | | | Открытая цилиндрическая передача | 12 | 123/21 | 5,85 | | |
| | | | | Общее передаточное число | | | 289 | | |
| | Барабан (двойной) D = 1250 мм | | | | | | | Высота подъема H max. = 35 м | |
| | Скорость подъема V = 5 м/мин | | | | | | | Канат Варрингтон 24-1804 | |
| Механизм передвижения | МТ-41-8 1 шт. | 11 ПВ 25% | 715 | Редуктор РМ-500-I-64 | 4 | 88/11 | 8,0 | МО-200 1 шт. | К4-231 3 шт. ВЧ-250 2 шт. |
| | | | | | 6 | 85/14 | 6,07 | | |
| | | | | Открытая коническ. передача | 12 | 20/20 | 1 | | |
| | | | | — " — | 12 | 37/20 | 1,85 | | |
| | | | | Общее передаточное число | | | 90 | | |
| | Скорость передвижения V = 20 м/мин | | | | | | | Ширина рельса B = 80 мм | |
| | Диаметр ходового колеса D = 800 мм | | | | | | | Давление на колесо P max = | |

Проектом предусматривается обеспечение питания при возможной одновременной работе двух кранов в условиях питания секций троллей от одного источника.

Из учёта того, что механизмы основного и вспомогательного подъёмов не работают одновременно, а механизм передвижения и механизм какого-либо подъёма могут работать одновременно, мощность, потребляемая краном единовременно не превышает 56кВт.

На основании справочных данных эксплуатируемых моторов, потребляемая мощность в ВА будет составлять 79,8кВА.

Исходя из необходимости обеспечить питание двух кранов от одной секции щита 500В для обеспечения питания кранов на напряжении 400В принимается преобразующий трансформатор

500/400В с сухой изоляцией и естественным воздушным охлаждением, мощностью 160кВА (типа ТСЗ-160 500/400)

**Технические данные асинхронных электродвигателей серии МТ с фазовым ротором**

| Габарит | Обозначение электродвигателя | 25% ПВ | | | | | | | Напряжение между кольцами ротора в *а* | Кратность максимального момента | Маховой момент в *кгм²* | Вес двигателя в *кг* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | мощность в *квт* | скорость вращения при нагрузке в об/мин. | линейный ток в *а* при напряжении в *в* | | | коэффициент мощности cos φ | ток в роторе в *а* | | | | |
| | | | | 220 | 380 | 500 | | | | | | |
| I | МТ-11-6 | 2,2 | 885 | 12,4 | 7,2 | 5,5 | 0,72 | 12,8 | 135 | 2,3 | 0,17 | 99 |
| | МТ-12-6 | 3,5 | 910 | 17,8 | 10,3 | 7,8 | 0,73 | 12,2 | 204 | 2,5 | 0,27 | 109 |
| II | МТ-21-6 | 5,0 | 940 | 25,7 | 14,9 | 11,3 | 0,68 | 20,6 | 164 | 2,9 | 0,41 | 145 |
| | МТ-22-6 | 7,5 | 945 | 36,1 | 20,9 | 15,9 | 0,69 | 21,6 | 227 | 2,8 | 0,57 | 168 |
| III | МТ-31-6 | 11,0 | 953 | 49,0 | 28,4 | 21,6 | 0,71 | 35,6 | 200 | 3,1 | 1,05 | 218 |
| | МТ-31-8 | 7,5 | 702 | 36,7 | 21,2 | 16,1 | 0,69 | 28,0 | 185 | 2,6 | 1,05 | 218 |
| IV | МТ-41-8 | 11,0 | 715 | 53,2 | 30,8 | 23,4 | 0,67 | 46,7 | 155 | 2,9 | 1,86 | 300 |
| | МТ-42-8 | 16,0 | 718 | 75,4 | 42,5 | 32,5 | 0,69 | 0,5 | 222 | 3,0 | 2,70 | 360 |
| V | МТ-51-8 | 22,0 | 723 | 97,6 | 56,5 | 43,0 | 0,70 | 70,5 | 197 | 3,0 | 4,40 | 435 |
| | МТ-52-8 | 30,0 | 725 | 124 | 71,6 | 54,4 | 0,74 | 74,5 | 257 | 3,0 | 5,70 | 510 |
| VI | МТ-61-10 | 30,0 | 574 | 129 | 80,0 | 60,8 | 0,67 | 133 | 142 | 3,3 | 13,0 | 785 |
| | МТ-62-10 | 45,0 | 577 | 180 | 100 | 83,5 | 0,71 | 138 | 206 | 3,2 | 17,5 | 945 |
| | МТ-63-10 | 60,0 | 577 | 230 | 133 | 101 | 0,77 | 160 | 253 | 2,9 | 22,0 | 1100 |
| VII | МТ-71-10 | 80,0 | 582 | 320 | 190 | 145 | 0,71 | 167 | 294 | 3,3 | 40,0 | 1500 |
| | МТ-72-10 | 100,0 | 584 | 413 | 239 | 182 | 0,71 | 170 | 368 | 3,3 | 48,0 | 1650 |
| | МТ-73-10 | 125,0 | 585 | 495 | 286 | 218 | 0,73 | 175 | 442 | 3,4 | 57,0 | 1850 |

## 5. Выбор кабелей по номинальному току и падению напряжения

Сечение питающего кабеля по длительно-допустимому току принимается из условия:

$$I_{\text{дл.доп.}} \geq I_{\text{раб}}$$

Где $I_{\text{дл.доп}}$. – длительно допустимый ток для принятого сечения кабеля; $I_{\text{раб}}$ – рабочий ток присоединения.

Выбор сечения кабеля питания сборок 1 и 3 грейферных кранов осуществляется из учёта того, что два крана не могут работать одновременно (от каждой сборки может быть запитан только один кран при любом режиме питания кранов).

При нормальной работе электройстановки падение напряжения на вводе электроприёмника не должно превышать 5% от напряжения источника питания. При пуске электродвигателя, максимальное падение напряжения в питающей цепи не должно первышать 10%.

Ввиду того, что управление питанием электродвигателей новых кранов будет выполняется с помощью устройств плавного пуска, пусковой ток единичного двигателя принимается равным $3xI_{\text{раб}}$

Расчёт падения напряжения на вводах преобразующих трансформаторов на напряжении 500В представлен с учётом падения напряжения в кабеле от щитов 500В до трансформаторов.

Рабочий ток каждого фидера принимается одинаковым, исходя из справочных данных приводов крана, $I_{\text{раб}}$ =213,8А при 500В и $I_{\text{раб}}$ =261,6А при 400В

Длительно допустимый ток для кабеля принимается по таблице 1.3.6 ПУЭ Изд.7

| Наименование электропотребителя | Iраб, А | Iпуск.макс, А | Sкаб, кв.мм | Iдл.доп. А | Длина кабеля, м | dUраб,% | dUпуск,% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Щит 500В №1 Ф4** | | | | | | | |
| Фидер №4 | 213,8 | 380,8 | 95 | 220 | 10 | 0,14 | 0,25 |
| **Щит 500В №1 Ф3** | | | | | | | |
| Фидер №3 | 213,8 | 380,8 | 95 | 220 | 10 | 0,14 | 0,25 |

Расчёт падения напряжения на вводах шкафов с предохранителями разделительных бычков 1 и 3 на напряжении 400В представлен с учётом падения напряжения в кабеле от преобразующих трансформаторов 500/400В до шкафов с предохранителями, установленных на бычках.

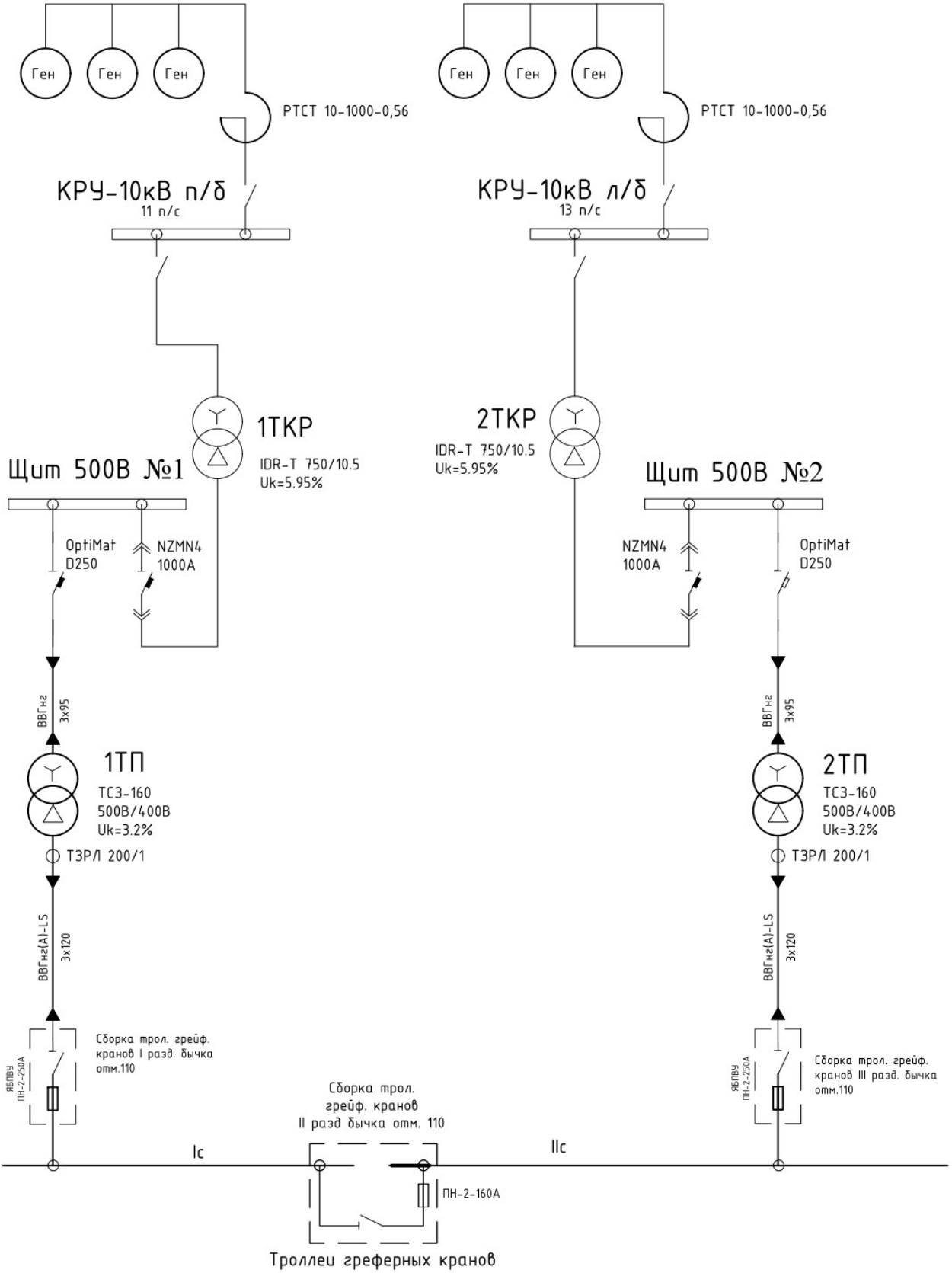
| Наименование электропотребителя | Iраб, А | Iпуск.макс, А | Sкаб, кв.мм | Iдл.доп. А | Длина кабеля, м | dUраб,% | dUпуск, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Трансформатор 1ТП** | | | | | | | |
| Фидер №4 | 261,6 | 461,6 | 120* | 260 | 65 | 1,17 | 2,07 |
| **Трансформатор 2ТП** | | | | | | | |
| Фидер №3 | 261,6 | 461,6 | 120* | 260 | 55 | 0,99 | 1,75 |

*) Сечение принято из учёта того, что ток при напряжении 400В будет ниже, чем ток при указанных каталожных данных приводов на напряжении 380В, а также из учёта того, что токовые характеристики современных кабелей, выпускаемых промышленностью, больше, чем токовые характеристики, указанные в ПУЭ.

## 6. Выбор кабелей по условиям невозгорания при токах короткого замыкания.

Расчётная схема приведена на Рисунке 2.

Рисунок 2. Расчётная схема




Расчеты токов короткого замыкания и термического воздействия токов к.з. на кабели выполнены на основании ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ»

Проверка силовых кабелей на термическую стойкость при КЗ и невозгораемость при КЗ выполнена с учетом ГОСТ 52736-2007 "Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания" и ГОСТ 28895-91 «Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учётом неадиабатического нагрева».

1. Исходные данные для выполнения расчётов

   Параметры токоограничевающего реактора 10кВ: X=0,56Ом

   Параметры трансформаторов 1ТКР и 2ТКР: S=750kVA; Uk=5,95%; Pk=9,1kW

   Параметры преобразующих трансформаторов 1ТП и 2ТП: S=160kVA; Uk=3,2%; Pk=2,56kW

2. Методика расчётов токов короткого замыкания до 1кВ.

*a) Трехфазное короткое замыкание:*

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{3} \times \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}$$

$I_{п0}$ - начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ, кА

$U_{ср.нн}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм. Эти сопротивления равны:

$$r_{1\Sigma} = r_T + r_{\text{кв}} + r_k + r_{\text{1кб}} + r_{\text{д}}$$

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_{\text{т}} + x_{\text{кв}} + x_{\text{1кб}}$$

$r_т$, $x_т$ - активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающего трансформатора, мОм

$x_с$ - эквивалентное индуктивное сопротивление системы до понижающего рансформатора, мОм, приведенное к ступени низшего напряжения;

$r_{кв}$, $x_{кв}$ - активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей, мОм

$r_к$ - суммарное активное сопротивление различных контактов, мОм;

$r_{1кб}$, $x_{1кб}$ - активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности кабельных линий, мОм

$r_д$ - активное сопротивление дуги в месте КЗ, мОм, учитывается только при расчете дугового короткого замыкания;

*b) однофазное короткое замыкание:*

$$I_{\text{п0}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \times U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}$$

$I^{(1)}_{п0}$ - начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы;

$r_{0\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ - суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм. Эти сопротивления равны:

$$r_{0\Sigma} = r_{0\text{т}} + r_{\text{кв}} + r_{\text{к}} + r_{\text{0кб}} + r_{\text{д}}$$

$$x_{0\Sigma} = x_{0\text{т}} + x_{\text{кв}} + x_{\text{к}} + x_{\text{0кб}}$$

$r_{0т}$, $x_{0т}$ - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора

$r_{0кб}$, $x_{0кб}$ - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабеля

*c) значения сопротивлений, используемых в расчётах:*

Сопротивление системы, приведённое к ступени низшего напряжения трансформатора 10,5/0,5кВ, с учётом сопротивления токоограничивающего реактора типа РТСТ 10-1000-0,56 в присоединении 10кВ: Хс=1,268мОм;

Сопротивление реактора: Хр=0,56 Ом

Сопротивление трансформаторов 1ТКР и 2ТКР: $X_т=X_{0т}$=19,4мОм; $r_т=r_{0т}$=4,0мОм

Сопротивление трансформаторов 1ТП и 2ТП: $X_т=X_{0т}$=27,7мОм; $r_т=r_{0т}$=16,0мОм

Сопротивления контактов, принятые в расчёте для применяемых автоматических выключателей:

| $I_{ном}$, А | $r_{кв}$, мОм | $X_{кв}$, мОм | $r_к$*, мОм |
|---|---|---|---|
| 250 | 0,36 | 0,28 | 0,6 |
| 1000 | 0,10 | 0,084 | 0,25 |

* - для автоматических выключателей $r_к$ - активное сопротивление присоединительных контактов полюса;

Удельное сопротивление применяемых кабелей и контактов, принятые в расчёте

| S, мм$^2$ | $r_{1кб.уд}$, мОм/м | $x_{1кб.уд}$, мОм/м | $r_{0кб.уд}$, мОм/м | $x_{0кб.уд}$, мОм/м | $r_к$*, мОм |
|---|---|---|---|---|---|
| 95 | 0,195 | 0,0602 | 0,85 | 0,308 | 0,027 |
| 120 | 0,154 | 0,0602 | 0,67 | 0,301 | 0,024 |

* - для кабелей $r_к$ - активное сопротивление одного разборного контактного соединения;

3. Методика расчётов термического действия тока КЗ на кабели.

Степень термического воздействия тока КЗ на проводники определяется значением интеграла Джоуля $B_к$, А$^2$с

$$B_K = B_{к.п.} + B_{к.а.} = I_{п.с}^2 \times \left[ t_{отк} + T_{а.эк} \times \left( 1 - e^{-\frac{2t_{откл}}{T_{эк}}} \right) \right]$$

$I_{п.с}=I_{п0}$ - действующее значение периодической составляющей тока КЗ от эквивалентного источника энергии, А

$T_{а.эк}$ – эквивалентная постоянная времени:

$$T_{а.эк} = \frac{X_{эк(R=0)}}{\omega_{синх} \times R_{эк(X=0)}}$$

$X_{эк(R=0)}$, $R_{эк(X=0)}$ - эквивалентные индуктивное и активное сопротивления относительно точки КЗ, определяемые из схем замещения, в которых все элементы исходной расчетной схемы учтены соответственно только индуктивными и только активными сопротивлениями

Соответствующий интегралу Джоуля термически эквивалентный ток КЗ $I_{тер.эк}$, А равен

$$I_{тер.эк} = I_{п.с} \times \sqrt{1 + \frac{T_{а.эк}}{t_{откл}} \left( 1 - e^{-\frac{2t_{откл}}{T_{а.эк}}} \right)}$$

Т.к. во время короткого замыкания происходит передача тепла в соседние материалы и при расчете нагрева кабелей это следует учитывать, то далее по ГОСТ 28895-91 «Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учётом неадиабатического нагрева» ток $I_{тер.эк}$ пересчитывается с учётом неадиабатического коэффициента ε:

$$I = \frac{I_{тер.эк}}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 + F \times A \sqrt{\frac{t}{S}} + F^2 \times B \left( \frac{t}{S} \right)}$$

F - коэффициент учета неполного теплового контакта между жилой или проволоками и окружающими или соседними неметаллическими материалами, рекомендуемое значение – 0,7

S - площадь поперечного сечения токопроводящего элемента, $мм^2$

t - длительность короткого замыкания, с;

A, B - эмпирические постоянные, основанные на термических характеристиках окружающих или соседних неметаллических материалов:

$A = \frac{C_1}{\sigma_c}\sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}}$ $(мм^2/с)^{1/2}$, где $C_1$=2464мм/м

$B = \frac{C_2}{\sigma_c}\left(\frac{\sigma_i}{\rho_i}\right)$ $(мм^2/с)$, где $C_2$=1,22К$мм^2$/Дж

$\sigma_c$ - удельная объемная теплоемкость токопроводящего элемента, для меди – $3{,}45 \times 10^6$ Дж/К$м^3$

$\sigma_i$ - удельная объемная теплоемкость окружающих или соседних неметаллических материалов, для кабелей с ПВХ изоляцией - $1{,}7 \times 10^6$ Дж/К·$м^3$

ρi - удельное термическое сопротивление окружающих или соседних неметаллических материалов, для кабелей с ПВХ изоляцией - 5,0 К·м/Вт.

Температура жилы кабеля в конце короткого замыкания, Θf, рассчитывается по формуле:

$$\theta f = (\theta_i + \beta) exp\left[\frac{I^2 \times t}{K^2 \times S^2}\right] - \beta$$

$\Theta_f$ – конечная температура °С

$\Theta_i$ – исходная температура °С

β - величина, обратная коэффициенту сопротивления токопроводящего элемента при 0°С, для меди – 234,5К

К – постоянная, зависящая от материала токопроводящего элемента, для меди – 226 $Ас^{1/2}/мм^2$

Исходная температура кабеля $\Theta_i$ расчитывается по формуле:

$$\Theta_i = \Theta_0 + \left(\Theta_{дд} - \Theta_{окр}\right)\left(\frac{I_{раб}}{I_{дд}}\right)^2$$

$\Theta_0$ – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, в расчете - 40°С

$\Theta_{дд}$ – значение расчетной длительной допустимой температуры жилы, в расчете - 65°С;

$\Theta_{окр}$ – значение расчетной температуры окружающей среды (воздуха) 25°С;

$I_{раб}$ - значение тока перед КЗ, А;

$I_{дд}$ - значение расчетного длительно допустимого тока, А

Для всех расчетных случаев принимается $\frac{I_{раб}}{I_{дд}} = 0{,}6$

4. Выбор минимального сечения кабеля по термической стойкости при КЗ.

$$Sтер.min = \frac{\sqrt{Вк}}{Стер}$$

Где Стер – функция, значение которой для проводников с медными жилами в ПВХ изоляции принмается равной $120Ас^{1/2}/мм^2$

Результаты расчёта минимального сечения кабелей по термической стойкости на участке от щита 500В до преобразующего трансформатора приведены в Таблице 1.1

Таблица 1.1 Расчёт минимального сечения кабелей по термической стойкости.

| Номер кабеля | Откуда | Куда | Сечение жил по Ip, мм2 | Длина, м | r1S, мет, мОм | x1S, мОм | I(3)мет в начале кабеля, кА | tоткл, с | Bk, кА$^2$с | Step. min, мм2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | Щит 500В №1 Ф4 | 1ТП | 95 | 10 | 4,5 | 21,5 | 13,41 | 0,025 | 7,18 | 22 |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | Щит 500В №3 Ф3 | 2ТП | 95 | 10 | 4,5 | 21,5 | 13,41 | 0,025 | 7,18 | 22 |

Результаты расчёта минимального сечения кабелей по термической стойкости на участке от трансформаторов 1ТП и 2ТП до щитов с предохранителями на разделительных бычках 1 и 3 Таблице 1.2

Таблица 1.2 Расчёт минимального сечения кабелей по термической стойкости.

| Номер кабеля | Откуда | Куда | Сечение жил по Ip, кв.мм | Длина, м | r1S, мет, мОм | x1S, мОм | I(3)мет в начале кабеля, кА | tоткл, с | Bk, кА$^2$с | Step. min, мм$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | 1ТП | Сборка на р.б.1 | 120 | 65 | 22,4 | 49,3 | 4,26 | 0,025 | 0,58 | 6 |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | 2ТП | Сборка на р.б.3 | 120 | 55 | 22,4 | 49,3 | 4,26 | 0,025 | 0,58 | 6 |

5. Проверка силовых кабелей на термическую стойкость при КЗ.

Температура нагрева проводника к моменту отключения КЗ не должна превышать предельно допустимую температуру нагрева соответствующего проводника при КЗ, т.е. если выполняется условие:

$$\Theta_{К\ ТЕР} \leq 160°C$$

В качестве расчетной точки КЗ принята точка в начале кабельной линии. В качестве расчетного вида КЗ принято трех- или однофазное дуговое КЗ (наибольшее значение). Расчетная продолжительность КЗ - время действия основной защиты (защитного выключателя присоединения).

Результаты проверки приведены в Таблице 2

6. Проверка силовых кабелей на невозгораемость при КЗ.

Температура нагрева проводника при расчетной продолжительности КЗ не должна превышать предельно допустимую температуру нагрева жил кабеля по условиям невозгораемости при КЗ, т.е. если выполняется условие:

$$\Theta_{К\ НВ} \leq 350°C$$

В качестве расчетной точки КЗ принята точка в начале кабельной линии (или при L=20м). В качестве расчетного вида КЗ принято трехфазное металлическое КЗ. Расчетная продолжительность КЗ - время действия резервной защиты.

Результаты расчёта приведены в Таблице 3

Условные обозначения, используемые в таблице расчета:

$I_{макс.раб}$ - максимальный рабочий ток линии

$I_{пуск.}$- пусковой ток двигателя

$I^{(1)}_{дуг}$ - расчетный ток однофазного дугового КЗ;

$I_{sd}$ - уставка по току селективной токовой отсечки автомата, защищающего линию

$I_i$ - уставка по току мгновенной токовой отсечки автомата, защищающего линию;

$K_{ч,i}$ - коэффициент чувствительности мгновенной токовой отсечки

$K_{ч,sd}$ – коэффициент чувствительности селективной токовой отсечки;

$I^{(3)}_{дуг}$ - расчетный ток дугового трехфазного КЗ;

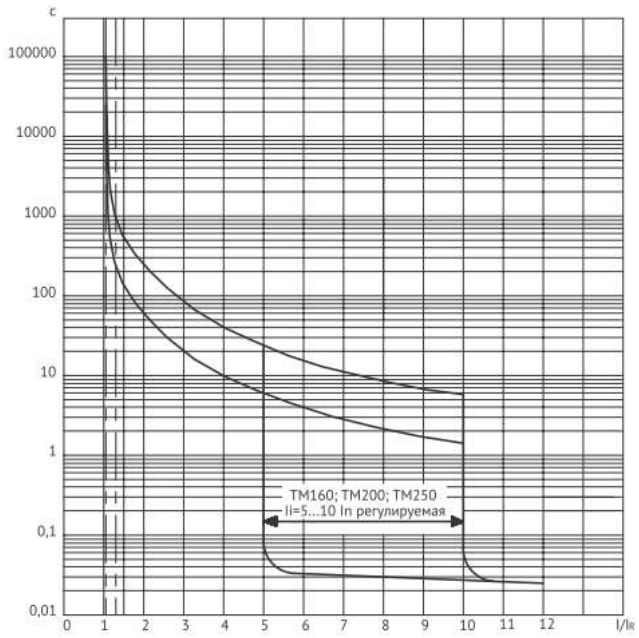
$I^{(3)}_{мет}$ – расчетный ток металлического трехфазного КЗ в конце кабельной линии;

$t_{терм}$ - расчетная продолжительность КЗ при проверке кабеля на термическую стойкость (время действия основной защиты);

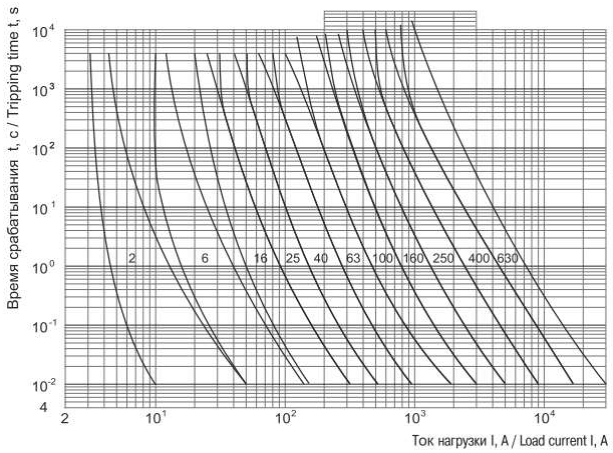
$t_{невозгор}$ - расчетная продолжительность КЗ при проверке кабеля на невозгораемость (время действия резервной защиты)

Для обеспечения защитя участка кабеля от преобразующих трансформаторов до ввода в шкафы с предохранителями на разделительных бычках 1 и 3 будут установлены выключатели производства КЭАЗ типа D160 с термомагнитным регулируемым расцепителем TM160.

Ниже приведены время-токовые характеристики расцепителей автоматических выключателей эксплуатируемых на щитах 500В №1 (Фидер 4) и №2 (Фидер 3) производства Moeller типа NZM2 и вновь устанавливаемых автоматических выключателей D160 производства КЭАЗ, а также, плавких вставок:




OptiMat D250 с термомагнитным расцепителем




Времятоковые характеристики плавких вставок ППНИ-37

| Номер кабеля | Откуда | Куда | Сечение жил, кв.мм | Длина, м | $r_{1\Sigma}$, дуг, мОм | $x_{1\Sigma}$, мОм | $r_{0\Sigma}$, дуг, мОм | $x_{0\Sigma}$, мОм | $I^{(3)}_{дуг}$ в начале кабеля, кА | $t_{откл}$, с | Т кабеля, °С | $I^{(2)}_{дуг}$ в начале кабеля, кА | $t_{защ}$, с | Т кабеля, °С |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | Щит 500В №1 Ф4 | 1ТП | 95 | 10 | 4,6 | 21,0 | 4,6 | 19,8 | 4,6 | 0,025 | 68,6 | 13,4 | 0,025 | 72,7 |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | Щит 500В №3 Ф3 | 2ТП | 95 | 10 | 4,6 | 21,0 | 4,6 | 19,8 | 4,6 | 0,025 | 68,6 | 13,4 | 0,025 | 72,7 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | 1ТП | Сборка на р.б.1 | 120 | 65 | 22,5 | 49,0 | 29,1 | 50,2 | 1,4 | 0,040 | 70,7 | 4,3 | 0,025 | 70,9 |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | 2ТП | Сборка на р.б.3 | 120 | 55 | 22,5 | 49,0 | 29,1 | 50,2 | 1,4 | 0,040 | 70,7 | 4,3 | 0,025 | 70,9 |

Таблица 2. Проверка кабелей на термическую стойкость

| Номер кабеля | Откуда | Куда | Сечение жил, кв.мм | Длина, м | $r_{\Sigma}$, мет, мОм | $x_{\Sigma}$, мОм | $I^{(3)}_{мет}$ в начале кабеля, кА | $t_{защ}$, с | Т кабеля, °С | Приме-чание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | Щит 500В №1 Ф4 | 1ТП | 95 | 10 | 4,5 | 21,0 | 13,4 | 0,15 | 87,8 | |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | Щит 500В №3 Ф3 | 2ТП | 95 | 10 | 4,5 | 21,0 | 13,4 | 0,15 | 87,8 | |
| | | | | | | | | | | |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | 1ТП | Сборка на р.б.1 | 120 | 65 | 22,4 | 49,3 | 4,3 | 0,15 | 71,8 | |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | 2ТП | Сборка на р.б.3 | 120 | 55 | 22,4 | 49,3 | 4,3 | 0,15 | 71,8 | |

Таблица 3. Проверка кабелей на на невозгорание при КЗ

7. Расчёт уставок срабатывания автоматических выключателей.

a) Автоматические выключатели не должны срабатывать при пуске защищаемых двигателей, для чего необходимо:

$$I_{\text{сраб}(i,sd)} \geq 2 \times I_{\text{пуск}}$$

Где $I_{пуск}$ – пусковой ток двигателя, А

Ввиду применения УПП с регулировкой настроек пускового тока, в расчётах применяется уставка пускового тока УПП 3xIн

b) Автоматические выключатели должны быть чувствительны к токам к.з. в конце защищаемого участка. Для выполнения этого требования необходимо выполнение неравенства:

$$I_{\text{сраб}(i,sd)} \leq \frac{I_{\text{дуг}}^{(1)}}{\text{К}_{\text{ч}}}$$

Где $I_{дуг}^{(1)}$ - расчетный ток однофазного дугового КЗ в конце кабельной линии, кА;

$К_ч$=1,3 – коэффициент чувствительности

$I_{сраб(i,sd)}$ - уставка по току мгновенной или селективной токовой отсечки автомата, защищающего линию, кА

Результаты расчётов приведены в Таблице 4

| Номер кабеля | Откуда | Куда | Ip max, A | Iпуск, A | Сечение жил, кв.мм | Длина, м | $r_{1\Sigma}$, дуг, мОм | $x_{1\Sigma}$, мОм | $r_{0\Sigma}$, дуг, мОм | $x_{0\Sigma}$, мОм | $I^{(1)}_{дуг}$ в конце кабеля, кА | In, A | Ir, A | Ii или ток срабат. эл.расц. | Кчi $I^{(1)}$дуг/Ii | Приме-чание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | Щит 500В №1 Ф4 | 1ТП | 213,8 | 380,8 | 95 | 10 | 6,6 | 21,6 | 13 1 | 22,9 | 4,057 | 250 | 250 | 1250 | 3,2 | |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | Щит 500В №3 Ф3 | 2ТП | 213,8 | 380,8 | 95 | 10 | 6,6 | 21,6 | 13 1 | 22,9 | 4,057 | 250 | 250 | 1250 | 3,2 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №4 | 1ТП | Сборка на р.б.1 | 261,6 | 461,6 | 120 | 65 | 32,5 | 53,3 | 72 6 | 70,1 | 1,031 | 250 | 250 | 1250 | 0,8 | * |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фидер №3 | 2ТП | Сборка на р.б.3 | 261,6 | 461,6 | 120 | 55 | 31,0 | 52,7 | 65 9 | 67,1 | 1,076 | 250 | 250 | 1250 | 0,9 | * |

*) - линии, в которых будет установлена выносная защита от ОЗЗ

Таблица 4. Проверка чувствительности выключателей при дуговом ОЗЗ

8. Расчёт уставок срабатывания выносных защит от однофазных КЗ в сети 0,4 кВ.

Ток срабатывания защиты принимается равным:

$$I_{сз}=0,6xI_{н.дв}$$

Защита должна обеспечивать достаточную чувствительность при однофазном КЗ на выводах двигателя:

$$К_{ч} = \frac{I_{дуг}^{(1)}}{I_{ср}} \geq 1,5$$

Ток срабатывания реле $I_{ср}$ выбирается ч учётом коэффициента трансформации трансформатора тока $К_{тт}=I_{н}/1$, где $I_{н}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока.

$$I_{ср} = \frac{I_{сз}}{К_{ТТ}}$$

Для обеспечения чувствительности к ОЗЗ на кабель присоединения устанавливается трансформатор тока нулевой последовательности типа ТЗРЛ-0,66 с вторичным током 1А и с круглым ответстием. Отключение фидера будет выполнено встроенным в выключатель независимым расцепителем.

Результаты расчётов приведены в Таблице 5

Таблица 5. Уставки срабатывания защит от ОЗЗ на отходящих линиях преобразующих трансформаторов

| Номер кабеля | Откуда | Куда | Ip max, А | Iс.з, А | $I^{(1)}_{дуг}$ в конце кабеля, кА | Ктт= Iтт/1 | Кч | Iс.р, А |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | |
| Фидер №4 | 1ТП | Сборка на р.б.1 | 261,6 | 157 | 1,031 | 200 | 6,6 | 0,8 |
| **Щит 500В№1 Ф4** | | | | | | | | |
| Фидер №3 | 2ТП | Сборка на р.б.3 | 261,6 | 157 | 1,076 | 200 | 6,9 | 0,9 |

## 7. Дополнительные мероприятия по обеспечению защиты кабелей

Ввиду того, что при применении преобразующего трансформатора 500/400В в цепи присоединения значительно уменьшаются токи короткого замыкания из-за влияния сопротивления трансформатора, проектом предусматривается замена используемых предохранителей в шкафах ввода питания троллей типа ППНИ-37 400А габарит 2 на аналогичные по габариту и типу предохранители с номинальным током 250А и замена предохранителя типа ППНИ-37 250А габарит 2 на аналогичный по габариту и типу предохранитель с номинальным током 160А