

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 исследовательской реакторной установки»

| | | | |
|--------------|----------------------------------------|-------|------------------|
| Студент | <u>С.А. Гнатюк</u> (И.О. Фамилия) | _____ | (личная подпись) |
| Руководитель | <u>О.В. Самолина</u> (И.О. Фамилия) | _____ | (личная подпись) |
| Консультанты | _____ | _____ | (личная подпись) |
| | _____ | _____ | (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 данной выпускной квалификационной мной была рассмотрена задача модернизирования системы электроснабжения исследовательской реакторной установки. Данная установка находится на предприятии атомной промышленности «АО ГНЦ НИИАР», г.Димитровград. При перерасчётах в данной работе я решил поставленные передо мной задачи, которые заключались:

- в выборе расчётных электрических нагрузок;
- в правильном выборе напряжения распределения по установке;
- в выборе числа и мощности трансформаторов;
- конструкции сетей.

Для того чтобы выбрать новые элементы системы, я произвёл расчёт токов короткого замыкания. Также мной были рассмотрены вопросы, относительно релейной защиты и автоматики трансформаторов, а также заземляющих устройств комплексного распределительного устройства (КРУ).

Содержание

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Общие сведения и характеристика объекта | 6 |
| 2 Расчёт электрических нагрузок потребителей..... | 7 |
| 3 Расчёт количества светильников методом коэффициента использования | 12 |
| 4 Расчет нагрузок на трансформаторы..... | 15 |
| 5 Выбор силовых трансформаторов..... | 17 |
| 6 Выбор кабеля на высокой стороне 6кВ..... | 22 |
| 6.1 Рассчитал сечение провода по допустимой нагрузке..... | 22 |
| 6.2 Сечение провода по экономической плотности тока. | 22 |
| 7 Расчет тока короткого замыкания | 24 |
| 8 Выбор оборудования на стороне высшего напряжения 6 кВ..... | 28 |
| 8.1 Выбор выключателя на высокой стороне 6 кВ | 28 |
| 8.2 Выбор разъединителя на высокой стороне 6 кВ..... | 31 |
| 8.3 Выбор трансформатора тока на высокой стороне 6 кВ | 32 |
| 8.4 Заземлители 6 кВ..... | 37 |
| 8.5 Электродвигатели 6кВ..... | 37 |
| 9 Релейная защита | 39 |
| 10 Расчет заземления | 40 |
| 11 Молниезащита | 45 |
| 13 Система нормального электроснабжения (СНЭ)..... | 49 |
| 13.1 Описание системы нормального электроснабжения..... | 49 |
| 13.2 Управление и контроль системы | 50 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 13.3 Нормальное функционирование системы | 50 |
| 13.4 Функционирование системы при отказах..... | 51 |
| 13.5 Исчезновение напряжения на I или II секции КРУ-6кВ (от “ОП”) | 51 |
| 13.6 Одновременное исчезновение напряжения на I и II секциях КРУ-6кВ | 52 |
| 13.7 Исчезновение напряжения на III секции КРУ-6кВ (от “АП”)..... | 52 |
| 13.8 Одновременное исчезновение напряжения от “ОП” и “АП” | 52 |
| 14 Система аварийного электроснабжения | 53 |
| 14.1 Описание системы аварийного электроснабжения | 53 |
| 14.2 Нормальное функционирование САЭ..... | 54 |
| 14.3 Функционирование САЭ при отказах..... | 55 |
| 14.4 Схема аварийного электроснабжения потребителей 2 й группы..... | 55 |
| 14.5 Схема аварийного электроснабжения потребителей 1 й группы..... | 56 |
| 14.6 Управление и контроль системы | 57 |
| Заключение | 60 |
| Список использованных источников | 61 |

Введение

Темой данной выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения исследовательского атомного реактора. С учётом высокого прогресса в наше время необходимо постоянно совершенствовать промышленную электронику, разрабатывать и создавать современные надёжные системы электроснабжения промышленных предприятий, автоматизированные системы управления электрооборудованием и технологическими процессами, а так же освещения. В связи с этим, в данной выпускной квалификационной работе при проектировании я уделю внимание вопросу надёжности, обеспечению качества электроэнергии, селективности и быстродействию релейной защиты и оперативной автоматики.

Основной задачей, при проектировании системы электроснабжения является:

- оптимизация параметров систем путём правильного выбора напряжений;
- определение электрических нагрузок;
- высокие требования к бесперебойности электроснабжения;
- рациональный выбор числа и мощности трансформаторов;
- конструкции самой промышленной сети;
- средств регулирования напряжения;
- подавление высших гармонических составляющих в сетях за счёт правильного построения схемы электроснабжения, соответствующей оптимальному уровню надёжности.

В работе мной был произведён расчёт токов короткого замыкания и выбор комплектующей аппаратуры, вопросов по релейной защите, а также выбор заземлений которые освещены в соответствующих разделах.

1 Общие сведения и характеристика объекта

ИЯУ СМ-3 расположена на территории Открытого Акционерного общества "Государственный научный центр научно-исследовательский институт атомных реакторов" (АО "ГНЦ НИИАР") в г. Димитровграде Ульяновской области и представляет собой корпусной водо-водяной реактор на промежуточных нейтронах, охлаждаемый водой под давлением.

Он предназначен для:

- облучения образцов реакторных материалов в заданных условиях;
- изучения закономерностей изменения свойств материалов в процессе облучения;
- накопления изотопов ТУЭ и радиоактивных нуклидов более легких элементов;
- исследования состава образцов методом нейтронно-активационного анализа.

СМ-3 относится к классу корпусных высокопоточных реакторов ловушечного типа с промежуточным спектром нейтронов, с охлаждением активной зоны водой под давлением. Спецификой технического проекта ИЯУ СМ-3 является создание реактора на промежуточных нейтронах при максимальном сокращении объема активной зоны и получении высокой плотности потока тепловых нейтронов в замедляющей ловушке в центре активной зоны с жестким спектром нейтронов.

Особенностью ИЯУ СМ-3 является то, что в одном здании расположена и ИЯУ РБТ-6 (запущенная в эксплуатацию в 1975 году). Установки имеют общий центральный зал, многие системы также являются общими.

2 Расчёт электрических нагрузок потребителей

Краткие теоретические сведения. Расчётная нагрузка по допустимому нагреву представляет собой такую условную длительную неизменную нагрузку, которая эквивалентна ожидаемой изменяющейся нагрузке по наиболее тяжёлому тепловому воздействию: максимальной температуре нагрева проводника или тепловому износу его изоляции.

Все расчёты сведены в таблицы: Приложение 1.

Рассмотрим пример расчёта нагрузок на примере ЩСУ-246:

ЩСУ-246 секция №1

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ кВт}; \quad (1)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 5,6 \cdot 0,51 = 2,85 \text{ квар}; \quad (2)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ кВт}; \quad (3)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 8,4 \cdot 0,51 = 4,3 \text{ квар}; \quad (4)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 9 = 6,3 \text{ кВт}; \quad (5)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 6,3 \cdot 0,51 = 3,2 \text{ квар}; \quad (6)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 37 = 25,9 \text{ кВт}; \quad (7)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 25,9 \cdot 0,48 = 12,4 \text{квар}; \quad (8)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 4 = 2,8 \text{кВт}; \quad (9)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2,8 \cdot 0,51 = 1,4 \text{квар}; \quad (10)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 11 = 7,7 \text{кВт}; \quad (11)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 7,7 \cdot 0,75 = 5,8 \text{квар}; \quad (12)$$

$$K_{u.сп.} = \frac{\sum P_c}{\sum P_n} = \frac{29,95}{81} = 0,4; \quad (13)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{29,95}{56,7} = 0,5; \quad (14)$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{\max}} = 9; \quad n_{\text{эф}} \leq \sum n \text{ значит принимаем } n_{\text{эф}} = 13; \quad (15)$$

$$P_p = \sum P_c \cdot K_m = 56,7 \cdot 1,34 = 76 \text{кВт}; \quad (16)$$

$$Q_p = Q_c = 29,95 \text{квар} \text{ т.к. } n_{\text{эф}} \geq 10 \quad (17)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = 81,7; \quad (18)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \cdot 1000 = 124A; \quad (19)$$

ЩСУ-246 секция №2

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 8 = 5,6; \quad (20)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 5,6 \cdot 0,51 = 2,85; \quad (21)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 12 = 8,4; \quad (22)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 8,4 \cdot 0,51 = 4,3; \quad (23)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 9 = 6,3; \quad (24)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 6,3 \cdot 0,51 = 3,2; \quad (25)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 37 = 25,9; \quad (26)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 25,9 \cdot 0,48 = 12,4; \quad (27)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 4 = 2,8; \quad (28)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 2,8 \cdot 0,51 = 1,4; \quad (29)$$

$$P_c = K_u \cdot \sum P_n = 0,7 \cdot 11 = 7,7; \quad (30)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 7,7 \cdot 0,75 = 5,8; \quad (31)$$

$$K_{u.sp.} = \frac{\sum P_c}{\sum P_n} = \frac{29,95}{81} = 0,4; \quad (32)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{29,95}{56,7} = 0,5; \quad (33)$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{\max}} = 9; \quad n_{\text{эф}} \leq \sum n \text{ значит принимаем } n_{\text{эф}} = 13; \quad (34)$$

$$P_p = \sum P_c \cdot K_m = 56,7 \cdot 1,34 = 76; \quad (35)$$

$$Q_p = Q_c = 29,95 \text{ т.к. } n_{\text{эф}} \geq 10 \quad (36)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = 81,7; \quad (37)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \cdot 1000 = 124; \quad (38)$$

Остальные расчеты производим аналогичным способом и результаты вносим в таблицы (приложение 1).

3 Расчёт количества светильников методом коэффициента использования

Найдём необходимое количество светильников в офисных помещениях со светлыми стенами, серым напольным покрытием и светлым потолком, которое обеспечивает среднюю освещённость 300лк на уровне 0,8 м от пола.

Пом.412:

Ширина – 9,5м, длина 4м, высота 3,2 м.

Светильники ars\с-236

В одном светильнике 2ЛЛ мощностью по 36Вт

Световой поток лампы 2850 лм.

Выбираем коэффициент запаса равный 1.5.

Коэффициент отражения потолка 70%, стен 50%, пола 20%.

$$S = a \cdot b = 9,5 \cdot 4 = 38\text{м}^2; \quad (39)$$

$$\varphi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)} = \frac{38}{(3,2 - 0,8) \cdot (9,5 + 4)} = 1,17; \quad (40)$$

Определил коэффициент использования по таблице для данного типа ламп

| ARS 218,236,258 | | | | | | | | | |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| потолок | 80 | 80 | 80 | 70 | 50 | 50 | 30 | 0 | |
| стены | 80 | 50 | 30 | 50 | 50 | 30 | 30 | 0 | |
| пол | 30 | 30 | 10 | 20 | 10 | 10 | 10 | 0 | |
| 0,6 | 50 | 37 | 31 | 35 | 34 | 31 | 31 | 27 | |
| 0,8 | 56 | 43 | 37 | 41 | 40 | 36 | 36 | 33 | |
| 1 | 60 | 49 | 42 | 46 | 44 | 41 | 40 | 37 | |
| 1,25 | 65 | 54 | 47 | 51 | 43 | 46 | 45 | 43 | |
| 1,5 | 67 | 53 | 50 | 54 | 51 | 49 | 43 | 45 | |
| 2 | 70 | 62 | 53 | 57 | 54 | 52 | 51 | 49 | |
| 2,5 | 72 | 65 | 56 | 60 | 56 | 54 | 54 | 51 | |
| 3 | 73 | 63 | 53 | 62 | 53 | 56 | 55 | 53 | |
| 4 | 74 | 70 | 59 | 64 | 59 | 53 | 57 | 54 | |
| 5 | 75 | 72 | 60 | 65 | 60 | 59 | 53 | 56 | |

Рисунок 1 Коэффициент использования

(Далее мною будет использоваться тот же метод выбора коэффициента использования).

Коэффициент использования $U=0,51$;

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}} = \frac{300 \cdot 38 \cdot 1,5}{0,51 \cdot 2 \cdot 2850} \approx 6; \quad (41)$$

Пом.409, 409а, 409б, 409в, 411, 403а, 401а:

Ширина – 8м, длина 4м, высота 3,2 м.

Светильники ars\с-236

В одном светильнике 2ЛЛ мощностью по 36Вт

Световой поток лампы 2850 лм.

Выбираем коэффициент запаса равный 1.5.

Коэффициент отражения потолка 70%, стен 50%, пола 20%.

$$S = a \cdot b = 9,5 \cdot 4 = 32 м^2; \quad (42)$$

$$\varphi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)} = \frac{32}{(3,2 - 0,8) \cdot (8 + 4)} = 1; \quad (43)$$

Определим коэффициент использования по таблице для данного типа ламп:

Коэффициент использования $U=0,46$;

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}} = \frac{300 \cdot 32 \cdot 1,5}{0,46 \cdot 2 \cdot 2850} \approx 6; \quad (44)$$

Итого: т.к.7 одинаковых помещений, то принимаем количество светильников 42шт.

Пом.330 (Ц.3.):

Ширина – 66м, длина 20м, высота 12 м.

Светильники дку-3(линза).

В одном светильнике 3LED мощностью по 32Вт

Световой поток лампы 11040 лм.

Выбираем коэффициент запаса равный 2.

Коэффициент отражения потолка 50%, стен 30%, пола 10%.

$$S = a \cdot b = 60 \cdot 20 = 1320m^2; \quad (45)$$

$$\varphi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)} = \frac{13320}{(12 - 0) \cdot (66 + 20)} = 1,27; \quad (46)$$

Коэффициент использования я определил по таблице для данного типа ламп:

Коэффициент использования $U=0,48$;

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{л}} = \frac{300 \cdot 1320 \cdot 2}{0,48 \cdot 3 \cdot 11040} \approx 50шт.; \quad (47)$$

Далее расчет произвожу тем же способом, после чего высчитываю общую нагрузку по освещению.

4 Расчет нагрузок на трансформаторы

На основании произведенных расчетов нагрузок сведенных в (приложение 1) рассмотрел расчёт нагрузки на трансформаторы 6ТС и 7ТС:

$$K_{u.зр.} = \frac{\sum P_c}{\sum P_n} = \frac{476,7}{760,7} = 0,62; \quad (48)$$

$$tg\varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} = \frac{273,3}{476,7} = 0,57; \quad (49)$$

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{\text{max}}} = 34; \quad n_{\text{эф}} \leq \sum n \text{ значит принимаю } n_{\text{эф}} = 122; \quad (50)$$

$$P_p = \sum P_c \cdot K_m = 476,7 \cdot 1,06 = 505,3 \text{ кВт}; \quad (51)$$

$$Q_p = Q_c = 273,3 \text{ квар} \text{ т.к. } n_{\text{эф}} \geq 10 \quad (52)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = 549,5; \quad (53)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \cdot 1000 = 835 \text{ А}; \quad (54)$$

Для остальных трансформаторов мною был произведён аналогичный расчет, а данные свёл в Приложение 2.

5 Выбор силовых трансформаторов

Выбор трансформаторов и их числа зависит от категории потребителя. По расчётам в данной работе питается потребитель: первой (особой) категории для которого должен предусматриваться и третий независимый источник, для увеличения общей надёжности. В роли третьего независимого источника для особой группы электропотребителей, а так же для второго источника электропитания для других электропотребителей первой категории могут использоваться свои электростанции (в данном случае мастная ТЭЦ используется для потребителя третьего источника автономного питания), а так же различные аппараты бесперебойного электропитания, аккумуляторные батареи и т.д.

Расчёт мощности трансформатора с учётом потерь, но без компенсации реактивной мощности :

1ТС-10ТС (Таблица 1)

$$S_{ном.Т} = 0,7 \cdot 459,3 = 321,5 \text{кВ} \cdot \text{А} \quad (55)$$

По каталогу выбрал трансформатор ТМ-400/6-10-68.

таблица 1 - Расчёт мощности трансформаторов 1ТС-10ТС

| Параметры | Величины |
|---------------------------------------|----------------|
| Марка | ТМ-400/6-10-68 |
| Ном. мощность $S_{ном}$, кВА | 400 |
| Напряж. ВН $U_{ном\ ВН}$, кВ | 6 |
| Напряж. НН $U_{ном\ НН}$, кВ | 0,4 |
| Потери мощности $XX \Delta P_0$, кВт | 1,45 |

Продолжение таблицы 1

| | |
|----------------------------------|-----|
| Потери при КЗ ΔP_k , кВт | 5,5 |
| Ток ХХ I_0 , % | 2,1 |
| Напряжение КЗ U_k , % | 4,5 |
| Кол-во n , шт. | 2 |

2ТС-3ТС (Таблица 2)

$$S_{ном.Т} = 0,7 \cdot 615,4 = 430,8 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (56)$$

По каталогу выбрал трансформатор ТМ-630/6-10-68.

таблица 2 - Расчёт мощности трансформаторов 2ТС-3ТС

| Параметры | Величины |
|---------------------------------------|----------------|
| Марка | ТМ-630/6-10-68 |
| Ном. мощность $S_{ном}$, кВА | 630 |
| Напряж. ВН $U_{ном\ ВН}$, кВ | 6 |
| Напряж. НН $U_{ном\ НН}$, кВ | 0,4 |
| Потери мощности ХХ ΔP_0 , кВт | 2,27 |
| Потери при КЗ ΔP_k , кВт | 7,6 |
| Ток ХХ I_0 , % | 2 |
| Напряжение КЗ U_k , % | 5,5 |
| Кол-во n , шт. | 2 |

4ТС-5ТС (Таблица 3)

$$S_{ном.Т} = 0,7 \cdot 612,13 = 428,5 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (57)$$

По каталогу выбрал трансформатор ТМ-630/6-10-68.

таблица 3 - Расчёт мощности трансформаторов 4ТС-5ТС

| Параметры | Величины |
|---------------------------------------|----------------|
| Марка | ТМ-630/6-10-68 |
| Ном. мощность $S_{ном}$, кВА | 630 |
| Напряж. ВН $U_{ном\text{ ВН}}$, кВ | 6 |
| Напряж. НН $U_{ном\text{ НН}}$, кВ | 0,4 |
| Потери мощности ХХ ΔP_0 , кВт | 2,27 |
| Потери при КЗ ΔP_K , кВт | 7,6 |
| Ток ХХ I_0 , % | 2 |
| Напряжение КЗ U_K , % | 5,5 |
| Кол-во n , шт. | 2 |

6ТС-7ТС (Таблица 4)

$$S_{ном.Т} = 0,7 \cdot 835 = 584,5 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (58)$$

По каталогу выбрал трансформатор ТМ-630/6-10-68.

таблица 4 - Расчёт мощности трансформаторов 6ТС-7ТС

| Параметры | Величины |
|---------------------------------------|----------------|
| Марка | ТМ-630/6-10-68 |
| Ном. мощность $S_{ном}$, кВА | 630 |
| Напряж. ВН $U_{ном\ ВН}$, кВ | 6 |
| Напряж. НН $U_{ном\ НН}$, кВ | 0,4 |
| Потери мощности ХХ ΔP_0 , кВт | 2,27 |
| Потери при КЗ ΔP_k , кВт | 7,6 |
| Ток ХХ I_0 , % | 2 |
| Напряжение КЗ U_k , % | 5,5 |
| Кол-во n , шт. | 2 |

8ТС-9ТС (Таблица 5)

$$S_{ном.Т} = 0,7 \cdot 116,1 = 81,27 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (59)$$

По каталогу выбрал трансформатор ТМ-100/6-10-66.

таблица 5 - Расчёт мощности трансформаторов 8ТС-9ТС

| Параметры | Величины |
|-------------------------------|----------------|
| Марка | ТМ-100/6-10-66 |
| Ном. мощность $S_{ном}$, кВА | 100 |
| Напряж. ВН $U_{ном\ ВН}$, кВ | 6 |

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Напряж. НН $U_{\text{ном нн}}$, кВ | 0,4 |
| Потери мощности ХХ ΔP_0 , кВт | 0,365 |
| Потери при КЗ ΔP_K , кВт | 1,97 |
| Ток ХХ I_0 , % | 2,6 |
| Напряжение КЗ U_K , % | 4,5 |
| Кол-во n , шт. | 2 |

Т1-Т2(Т3) (Таблица 6)

$$S_{\text{ном.Т}} = 0,7 \cdot 530 = 371 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (60)$$

По каталогу выбрал трансформатор ТМ-400/6-10-68.

таблица 6 - Расчёт мощности трансформаторов Т1-Т2(Т3)

| Параметры | Величины |
|---------------------------------------|----------------|
| Марка | ТМ-400/6-10-68 |
| Ном. мощность $S_{\text{ном}}$, кВА | 400 |
| Напряж. ВН $U_{\text{ном вн}}$, кВ | 6 |
| Напряж. НН $U_{\text{ном нн}}$, кВ | 0,4 |
| Потери мощности ХХ ΔP_0 , кВт | 1,45 |
| Потери при КЗ ΔP_K , кВт | 5,5 |
| Ток ХХ I_0 , % | 2,1 |
| Напряжение КЗ U_K , % | 4,5 |
| Кол-во n , шт. | 2 |

6 Выбор кабеля на высокой стороне 6кВ

Выбрал кабель марки АСБ 3х150

6.1 Рассчитал сечение провода по допустимой нагрузке

Максимальный расчетный ток:

$$I_{\text{pmax}} = S_{\text{п/ст}} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}, \quad (61)$$

где $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение (6 кВ).

$$I_{\text{pmax}} = 400 \text{ А}. \quad (62)$$

Расчетный ток:

$$I_{\text{р}} = I_{\text{pmax}} / 2, \quad (63)$$

$$I_{\text{р}} = 200 \text{ А}. \quad (64)$$

Выбрал сечение провода по максимальному расчетному току (вне помещения) : $S = 150 \text{ мм}^2$.

6.2 Сечение провода по экономической плотности тока.

Экономически целесообразное сечение:

$$S_{\text{ЭК}} = I_p / j_{\text{ЭК}} , \quad (65)$$

где $j_{\text{ЭК}}$ – нормированное значение экономической плотности тока .

$$j_{\text{ЭК}} = 1,4 \text{ А/мм}^2.$$

$$S_k > S_{\text{ЭК}} = 145 \text{ мм}^2. \quad (66)$$

7 Расчет тока короткого замыкания

Короткое замыкание (КЗ), это нарушение нормальной работы электрической установки, в следствии замыкания фаз между собой, а также замыкания фаз на землю.

Выбрал расчетные точки при включенном положении секционных выключателей на ВН, НН. Далее я составил расчётную схему и схему замещения (рисунок 2).

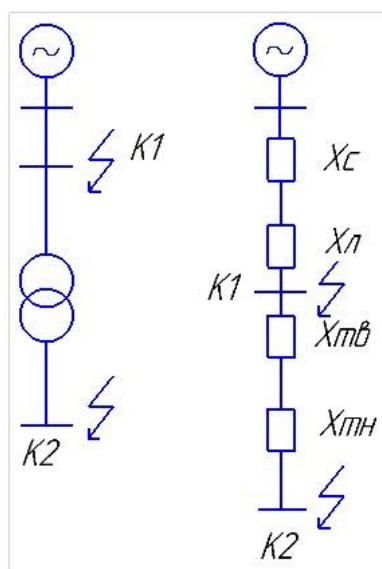


Рисунок 2 точки при включенном положении секционных выключателей.

Произвёл расчёт токов К.З. для последующего подбора по каталогам нужных проводников и аппаратов, для выполнения проверки соблюдения условий электродинамической и термической стойкости при коротком замыкании, для определения параметра чувствительности и параметров действия и срабатывания устройств релейной защиты и автоматики (привёл приближенными).

Произвёл расчёт (в относительных единицах):

$$x_{*б,с} = \frac{S_{б}}{S_{к}} = \frac{1000}{4700} = 0,213; \quad (67)$$

$$x_{*\delta, T\delta} = \frac{u_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_n} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000}{0,63} = 87,3; \quad (68)$$

$$x_{*\delta, TH} = \frac{u_{\kappa\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_n} = \frac{11,375}{100} \cdot \frac{1000}{0,63} = 180,5; \quad (69)$$

$$x_{*\delta, \Pi} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_n^2} = 0,08 \cdot \frac{8}{2} \cdot \frac{1000}{6^2} = 8,9; \quad (70)$$

Трёхфазное К.З. на стороне высокого напряжения (точка К1).

Точка К1:

$$x_{\Sigma K1} = x_{*\delta, C} + x_{*\delta, \Pi} = 0,213 + 8,9 = 9,113 \quad (71)$$

Определил базисный ток:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,63} = 917,5 \text{ кА} \quad (72)$$

Определил начальное действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{\delta}''}{x_{*рез}} \cdot I_{\delta} \text{ кА}; \quad (73)$$

$$I_{n,o}^{(3)} = \frac{1}{9,113} \cdot 917,5 = 100,6 \text{ кА}. \quad (74)$$

Ударный ток К.З.:

$$i_{y\partial} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \text{ кА} \quad (75)$$

$$i_{y\partial} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n,o} = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 100,6 = 241,8 \text{ кА} \quad (76)$$

Однофазное К.З. на стороне высокого напряжения (точка К1):

$$\Delta x^{(1)} = x_{2\Sigma K1} + x_{0\Sigma K1} \quad (77)$$

$$x_{2\Sigma K1} = x_{1\Sigma K1} = x_{\Sigma K1} = 9,113 \quad (78)$$

Для расчёта сопротивления нулевой последовательности построил схему приведённую на Рисунке 3.

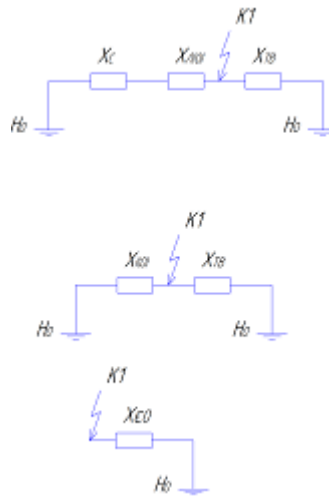


Рисунок 3 сопротивление нулевой последовательности

$$x_{0\Sigma K1} = x_{л} + x_{*0,C} // x_{*0,Тв} = \frac{(0,213 + 8,9) \cdot 87,3}{0,213 + 8,9 + 87,3} = 8,2 \text{ кА} \quad (79)$$

$$I_{n.o}^{(1)} = \frac{m \cdot E_{\delta}''}{x_{\Sigma K1} + \Delta x^{(1)}} \cdot I_{\delta} = \frac{1 \cdot 3}{9,113 + 9,113 + 8,2} \cdot 917,5 = 104,1 \text{ кА} \quad (80)$$

Трехфазное К.З. на стороне высокого напряжения (точка К2).

Итоговое сопротивление в точке К2:

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K1} + x_{*\delta, T\delta} + x_{*\delta, TH} = 9,113 + 87,3 + 180,5 = 276,9 \quad (81)$$

Определил базисный ток:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1445 \text{ кА} \quad (82)$$

Определил начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания:

$$I_{n.o}^{(3)} = \frac{1}{276,9} \cdot 1445 = 5,2 \text{ кА} \quad (83)$$

Определил ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y\delta} = k_{y\delta} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n.o} = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,2 = 12,5 \text{ кА} \quad (84)$$

8 Выбор оборудования на стороне высшего напряжения 6 кВ.

8.1 Выбор выключателя на высокой стороне 6 кВ

Рассмотрел элегазовый выключатель ВГП-6(10)- 40/3150. Все данные из каталога и рассчитанные свёл в таблицу №7.

Выбор выключателя:

1) Номинальное напряжение – $U_{ном} \leq U_{сет.ном.}$.

2) Номинальный ток – $I_{ном.дл.} \leq I_{ном.}$

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 1,4 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 84,9A \quad (85)$$

$$I_{ном} = 3150 A \quad (86)$$

3) Отключающая способность:

а) Симметричный ток откл. – $I_{п,т} \leq I_{откл.ном.}$:

$$I_{п,т} = 5,2кА \leq I_{откл.ном.} = 40кА \quad (87)$$

б) Отключение аperiodической составляющей тока короткого замыкания:

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,\text{ном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}} / 100) \cdot I_{\text{откл.ном}} \quad (88)$$

$$\tau = t_{\text{пз}} + t_{\text{св}} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \quad (89)$$

$$i_{a,\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 40 = 28,3 \text{ кА} \quad (90)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 5,2 \cdot 0,67 = 4,92 \text{ кА} \quad (91)$$

4) Предельный сквозной ток короткого замыкания:

$$I_{n,o} \leq I_{\text{нрс}} \quad (92)$$

$$I_{n,o} = 5,2 \text{ кА} \leq I_{\text{нрс}} = 40 \text{ кА} \quad (93)$$

$$i_{y\partial} \leq i_{\text{нрс}} \quad (94)$$

$$i_{y\partial} = 12,5 \text{ кА} \leq i_{\text{нрс}} = 128 \text{ кА} \quad (95)$$

5) Тепловой импульс – для определения термической стойкости:

$$B_{\kappa} = I_{n,o}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) \quad (96)$$

$$B_{\kappa} = 5,2^2 \cdot (0,03 + 0,1) = 3,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (97)$$

$$B_{\kappa,ном} = 40^2 \cdot 0,03 = 48 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (98)$$

$$B_{\kappa} = 3,5 \leq B_{\kappa,ном} = 48 \quad (99)$$

Таблица 7

| Элегазовый выключатель ВГП-6(10)- 40/3150 | |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Данные по расчётам | Данные по каталогу |
| $U_{ном} = 6\text{кВ}$ | $U_{ном} = 6\text{кВ}$ |
| $I_{max} = 84,9\text{ А}$ | $I_{ном} = 3150\text{ А}$ |
| $I_{n,o}^{(3)} = 5,2\text{ кА}$ | $I_{откл,ном} = 40\text{ кА}$ |
| $i_{a,\tau} = 7,36\text{ кА}$ | $i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 0,5 \cdot 40 = 28,3\text{ кА}$ |
| $I_{n,o} = 5,2\text{ кА}$ | $I_{прс} = 40\text{ кА}$ |
| $i_{y0} = 12,5\text{ кА}$ | $i_{прс} = 128\text{ кА}$ |
| $B_{\kappa} = 3,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $B_{\kappa,ном} = 48\text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

По расчётам, выбрал выключатель ВГП-6(10)- 40/3150.

8.2 Выбор разъединителя на высокой стороне 6 кВ

Рассмотрел разъединитель марки РВЗ 10/400, 630-I. Все данные агрегата и расчетные величины свел в таблицу №8.

Выбор разъединителя :

1) Номинальное напряжение:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном} \quad (100)$$

2) Номинальный ток:

$$I_{ном.дл} \leq I_{ном} \quad (101)$$

3) Предельный сквозной ток короткого замыкания – для определения электродинамической стойкости:

$$i_{yd} \leq i_{прс} \quad (102)$$

4) Тепловой импульс – для определения термической стойкости:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T \quad (103)$$

Таблица №8

| Разъединитель РВЗ 10/400, 630-І | |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Данные по расчётам | Данные по каталогу |
| $U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ | $U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$ |
| $I_{max} = 84,9 \text{ А}$ | $I_{ном} = 400 \text{ А}$ |
| $I_{н.о} = 5,2 \text{ кА}$ | $I_{прс} = 41 \text{ кА}$ |
| $i_{уд} = 12,5 \text{ кА}$ | $i_{прс} = 80 \text{ кА}$ |
| $B_{к} = 3,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $B_{к.ном} = 50,43 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

По расчитаннм данным, выбираю разъединитель
РВЗ 10/400, 630-І.

8.3 Выбор трансформатора тока на высокой стороне 6 кВ

Рассмотрел трансформатор тока ТПОЛ-10.

1) Номинальное напряжение:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном} \quad (104)$$

$$U_{ном} = 6 \text{ кВ} \leq U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ} \quad (105)$$

2) Номинальный длительный (рабочий) ток:

$$I_{ном} \leq I_{1ном} \quad (106)$$

$$I_{max} = 1,4 \cdot \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 1,4 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 84,9A \quad (107)$$

$$I_{ном} = 200A \quad (108)$$

3) Электродинамическая стойкость:

$$i_{уд} \leq K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном} \quad (109)$$

$$K_{уд} = 102 \quad (110)$$

$$19,78кА \leq 24,1кА \quad (111)$$

4) Термическая стойкость:

$$B_k \leq K_T^2 \cdot I_{1ном}^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T \quad (112)$$

$$7,77^2 \cdot 0,03 \leq 25^2 \cdot 0,2^2 \cdot 0,03 \quad (113)$$

$$0,75кА^2 \cdot c \leq 1,811кА^2 \cdot c \quad (114)$$

5) Вторичная нагрузка:

$$Z_2 \leq Z_{2ном} \quad (115)$$

Для того чтобы проверить трансформатор тока и его вторичной нагрузке, пользуюсь схемой включения и данным из каталога приборов, определяю по фазно нагрузку для трансформатора тока, который наиболее загружен. Загрузка фаз равномерна. Выбрал фазу А . Все показания свёл в таблицу 9.

Таблица 9

| Прибор | Тип | Нагрузка, В · А | | |
|-----------|---------|-----------------|-----|-----|
| | | А | В | С |
| Амперметр | Э – 350 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Сопротивление приборов по фазе А:

$$R_{приб.} = S_{приб.} / I_2^2 = 0,5 / 5^2 = 0,02 Ом. \quad (116)$$

Если у контактов сопротивление $R_k=0,1$ Ом, у проводов сопротивление тогда:

$$R_{пр} = Z_{2ном} - R_{приб} - R_k = 1,2 - 0,02 - 0,1 = 1,08 Ом. \quad (117)$$

Если для соединительных приборов принять длину 40 м. жилами из меди, определяю сечение:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{np}} = \frac{0,0175 \cdot 40}{1,08} = 0,64 \text{ мм}^2, \quad (118)$$

$l_p = l$ – расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока.

Принимаю стандартное сечение 2,5 мм²

Произвёл сравнение с трансформатором тока ТШЛП-10. Данные свёл в таблицу 10.

Таблица №10

| Трансформатор тока ТШЛП-10. | |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Данные по расчётам | Данные по каталогу |
| $U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ | $U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$ |
| $I_{max} = 125,51 \text{ А}$ | $I_{1ном} = 300 \text{ А}$ |
| $i_{уд} = 19,78 \text{ кА}$ | $K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1ном} = 46 \text{ кА}$ |
| $B_{к} = 7,84 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Для определения равномерности загрузки фаз, использую схему включения и данные из каталога приборов: при проверке трансформатора тока по вторичной нагрузке данный метод определил нагрузку по фазам равномерной. Данные свёл в таблицу 11.

Таблица №11

| Прибор | Тип | Нагрузка, $B \cdot A$ | | |
|-----------|---------|-----------------------|-----|-----|
| | | A | B | C |
| Амперметр | Э – 350 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Сопротивление прибором по фазе А:

$$R_{\text{приб.}} = S_{\text{приб.}} / I_2^2 = 0,5 / 5^2 = 0,02 \text{ Ом} . \quad (119)$$

Если у контактов сопротивление $R_k = 0,1$ Ом, у проводов тогда сопротивление будет равным:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_k = 1,2 - 0,02 - 0,1 = 1,08 \text{ Ом} . \quad (120)$$

Если для соединительных проводов принять длину 40 м. с жилами из меди, определяю сечение

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 40}{1,08} = 0,64 \text{ мм}^2 , \quad (121)$$

$l_p = l$ – расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока.

Принимаем стандартное сечение 2,5 мм²

По результатам сравнения трансформаторов тока, относительно характеристик и рассчитанным данным выбираю ТПОЛ-10.

8.4 Заземлители 6 кВ

Выбираю ЗР-10-НУЗ.

8.5 Электродвигатели 6кВ

Данная реакторная установка введена в эксплуатацию в 1961, в то же время был произведён монтаж электродвигателей насосов 20 НДН типа «А4-400ХК-6УЗ», за время эксплуатации данный тип двигателя в несколько раз превысил свой допустимый ресурс, что по сути не допустимо. Произвел подбор нового электродвигателя данного насоса ДЗ200-ЗЭ-2-УЗ, характеристики и паспортные данные свёл в таблицу №12.

Таблица 12.

| Параметры | А4-400ХК-6УЗ | ДЗ200-ЗЭ-2-УЗ |
|-------------------------------------|--------------|---------------|
| Мощность, кВт | 315 | 400 |
| Напряжение, В | 6000 | 6000 |
| Синхронная частота вращения, об\мин | 1000 | 1000 |
| Частота, Гц | 50 | 50 |
| Ток статора, А | 38 | 40 |
| КПД | 93,5 | 90 |
| Коэффициент мощности | 0,85 | 0,85 |

Данный электронасосный агрегат подходит по всем параметрам, выбираю его.

9 Релейная защита

Структуру защитных систем линии проектируют в зависимости от количества линий в схеме питания. Так же обращают внимание на их исполнение. Для одиночных линий с односторонним питанием используются:

- МТЗ: максимальная токовая защита с выдержкой времени;
- ТО: токовая отсечка;
- защита от замыканий на землю.

Что бы защитить силовые трансформаторы от различных внутренних повреждений, используют продольную дифференциальную защиту, срабатывающую на отключение. Для защиты от внутренних повреждений связанных с выделением различных газов: междуфазных замыканий внутри кожуха трансформатора, витковых замыканий, пожара в стали, используют газовую защиту трансформаторов.

Что бы защита отвечала параметрам чувствительности в пределах коэффициента чувствительности, применяется релейная защита на основе реле ДЗТ-11.

Для правильной работоспособности. Основные рабочие цепи реле включаются в плечо с наибольшим током цепи, а уравнительные цепи в плечи с меньшими токами.

МТЗ выполняет защиту от внешних КЗ, обеспечивает надёжность работы цепи. На стороне 6 кВ применяется двухрелейное исполнение по схеме неполной звезды.

Выдержка времени комплекта релейной защиты со стороны ВН выбирается на ступень селективности $\Delta t=0,5\text{с}$ больше наибольшей из выдержек времени двух других комплектов.

Также максимально токовая защита используется в схеме АВР на секционных выключателях. Здесь выбирается МТЗ выполненная на основе реле РТ-40.

10 Расчет заземления

В зависимости от назначения заземления электроустановок подразделяются на защитное, рабочее и грозозащитное. Обычно для выполнения всех трёх типов заземления используется одно заземляющее устройство.

Для выполнения заземления могут быть использованы естественные и искусственные заземлители.

$$\text{Для } \tau = t_{p.z} + t_{o,e} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с находим } U_{np.\dot{d}on} = 500 \text{ В.} \quad (122)$$

Для заземлителей выполненных из вертикальных и горизонтальных проводников :

$$k_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_g L_z}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}} = \frac{0,5 \cdot 0,48}{\left(\frac{5 \cdot 450}{10\sqrt{42 \cdot 50}}\right)^{0,45}} = 0,117 \quad (123)$$

где $M = 0,5$ зависит от $\frac{\rho_1}{\rho_2}$, т.к. однородный грунт: $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1$,

$l_g = 5$ м – заземлитель вертикальный;

$L_z = 450$ м – заземлитель горизонтальный;

Вертикальное заземление находится на расстоянии, $a = 10$ м;

Заземляющее устройство имеет площадь $S = 2100 \text{ м}^2$;

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \rho_{в.с}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 700} = 0,48 \quad (124)$$

где $R_q = 1000 \text{ Ом}$, $R_c = 1,5 \cdot \rho_{в.с}$,

$\rho_{в.с}$ – верхний слой грунта (песок) имеет удельное сопротивление:

$$\rho_{в.с} = \rho_{\text{известняк}} = 700 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$U_3 = \frac{U_{\text{нр.дон}}}{k_{II}} = \frac{500}{0,117} = 4273 \text{ В} - \text{допустимый предел (ниже 10 КВ)} \quad (125)$$

$$R_{3,\text{дон}} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{4273}{9520} = 0,449 \text{ Ом}. \quad (126)$$

По расчётам заземлителя представляется собой модель квадрата со стороной:

$$\sqrt{S} = \sqrt{50 \cdot 42} = 46 \text{ м}. \quad (127)$$

Выбрал по стороне квадрата число ячеек:

$$m = \frac{L_2}{2\sqrt{S}} - 1 = \frac{450}{2 \cdot 46} - 1 = 3,89 ; \quad (128)$$

принимаем $m = 4$.

Рассчитанная модель имеет длину полос:

$$L'_z = 2 \cdot \sqrt{S}(m+1) = 2 \cdot 46 \cdot 5 = 460 \text{ м} \quad (129)$$

Для ячейки длина сторон:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} = \frac{46}{4} = 11,5 \text{ м} \quad (130)$$

Наилучшее использование вертикальных электродов и расположения их по периметру заземлителя. Расположенное число вертикальных заземлителей по периметру контура выполняется при условии: $a/l_g = 1$

$$n_g = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_g} = \frac{46 \cdot 4}{5} = 36,8 \quad (131)$$

принимаю $n_g = 37$.

Вертикальные заземлители имеют длину:

$$L_g = l_g \cdot n_g = 5 \cdot 37 = 185 \text{ м} \quad (132)$$

Вертикальные заземлители погружены на глубину:

$$\frac{l_g + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{46} = 0,124 > 0,1 \quad \text{тогда} \quad (133)$$

$$A = (0,385 - 0,25 \cdot 0,124) = 0,354 \quad (134)$$

Сложный заземлитель:

$$R_3 = A \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_6} = 0,354 \cdot \frac{1000}{46} + \frac{1000}{460+185} = 9,24 \text{ Ом} \quad (135)$$

что больше $R_{3,дон} = 0,449 \text{ Ом}$.

Напряжение прикосновения

$$U_{np} = k_{II} I_3 R_3 = 0,117 \cdot 9520 \cdot 9,24 = 10291 \text{ В}, \quad (136)$$

что выше допустимого значения 500 В.

Нужно снизить U_{np} . Для этого используем подсыпку гравия около 0,2 м по всей территории, для увеличения сопротивления под ступнями человека.

Верхний слой почвы (гравия) $\rho_{в.с} = 3000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, тогда

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \rho_{в.с}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 3000} = 0,18 \quad (137)$$

$$k_{II} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_6 L_2}{a\sqrt{S}}\right)^{0,45}} = \frac{0,5 \cdot 0,18}{\left(\frac{5 \cdot 450}{10\sqrt{42 \cdot 50}}\right)^{0,45}} = 0,045 \quad (138)$$

На растекание тока заземляющего устройства подсыпка гравием не повлияла, так как глубина заземления 0,7 м и это больше чем толщина слоя

гравия. Исходя из этого соотношение, $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ а величина М остается неизменной.

$$U_3 = \frac{U_{np.\dot{d}on}}{k_{II}} = \frac{500}{0,045} = 11111 \text{ В - допустимо.} \quad (139)$$

$$R_{3.\dot{d}on} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{11111}{9520} = 1,16 \text{ Ом, это меньше } R_{3.\dot{d}on} = 1,28 \text{ Ом} \quad (140)$$

Напряжение прикосновения:

$$U_{np} = k_{II} I_3 R_3 = 0,045 \cdot 9520 \cdot 1,16 = 496,9 \text{ В,} \quad (141)$$

меньше значения 500 В, что допустимо.

Исходя из расчётов понятно, что подсыпка гравием эффективна на территории ОРУ.

11 Молниезащита

Сооружение должно быть защищено с достаточной степенью молниеотводами предотвращающими прямые попадания ударов молний.

Расчёты защит от прямого попадания удара молнии заключается в том, что требуется определить зону защиты, типа защиты и параметров.

Выбрал высоту стержневого молниеотвода равной $h = 30 \text{ м}$;

$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ м}$ – высота вершины конуса стержневого молниеотвода;

Защищаемое сооружение имеет высоту $h_x = 15 \text{ м}$;

Конус имеет радиус $r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ м}$;

Между стержневыми молниеприёмниками расстояние $L = 45 \text{ м} \leq 4h$;

Между молниеприёмников выбрал расстояние:

$$L_{\max} = 4,25 \cdot h = 4,25 \cdot 30 = 127,5 \text{ м} \quad (142)$$

$$L_C = 2,25 \cdot h = 2,25 \cdot 30 = 67,5 \text{ м} ; \quad (143)$$

$$h_C = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_C} \cdot h_0 = \frac{127,5 - 45}{127,5 - 67,5} \cdot 25,5 = 35,06 \text{ м} ; \quad (144)$$

На горизонтальном сечении на высоте h_x максимальная ширина зоны r_x :

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{36 \cdot (25,5 - 15)}{25,5} = 15 \text{ м} ; \quad (145)$$

$$l_x = \frac{L}{2} = \frac{45}{2} = 22,5 \text{ м}; \quad (146)$$

$$r_{cx} = \frac{r_0 \cdot (h_C - h_x)}{h_C} = \frac{36 \cdot (35,06 - 15)}{35,06} = 20,6 \text{ м}; \quad (147)$$

Произвёл выбор двойного стержневой молниеотвод, что отображено на рисунке 4.

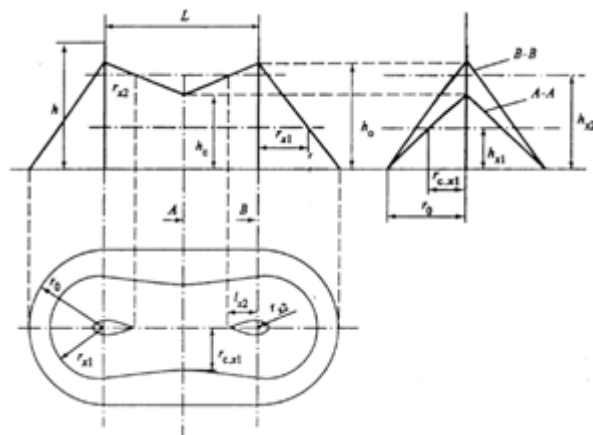


Рисунок 4 двойной стержневой молниеотвод

12 Назначение системы электроснабжения

Система электроснабжения предназначена для обеспечения электроэнергией потребителей установки в нормальном и аварийном режимах, связанных с повреждением оборудования 6 кВ и 0,4 кВ

По требованиям, предъявляемым к надежности электроснабжения, потребители установки разделяются на три группы.

Первая группа - потребители постоянного и переменного тока, не допускающие по условиям безопасности или сохранности основного оборудования перерыв питания более чем на доли секунды во всех режимах, включая режим полного обесточивания от внешних источников, и требующие обязательного наличия питания после срабатывания АЗ реактора. Потребителями этой группы являются: СУЗ, аппаратура контроля и измерения. Питаются они от сети 0,4 кВ переменного тока и 220В постоянного тока.

Вторая группа - потребители переменного тока, допускающие перерыв питания на время, определяемое условиями безопасности или сохранности оборудования, и требующие обязательного наличия питания после срабатывания АЗ реактора. К ней относятся: насосы СОМП, САОР, аварийный насос обратного водоснабжения, кондиционеры, насосы ГЦЭН №3, ГЦЭН №4.

Потребители этой группы присоединены к сети надежного питания 0,4 кВ переменного тока, кроме насосов ГЦЭН №3, ГЦЭН №4, которые после потери внешнего электроснабжения запитываются от аккумуляторных батарей через инверторы и преобразователи частоты.

Третья группа - потребители переменного тока, допускающие перерыв питания на время автоматического ввода резерва, и не требующие обязательного питания после срабатывания АЗ реактора. К этой группе относятся все остальные потребители, не вошедшие в первую и вторую группы.

Потребители первой и второй групп подразделяются на потребителей

систем безопасности, потребителей нормальной эксплуатации важных для безопасности, и потребителей нормальной эксплуатации. Система аварийного электроснабжения (САЭ), обслуживающая эти группы потребителей, относится к обеспечивающей системе безопасности.

Система нормального электроснабжения, обслуживающая третью группу потребителей, является системой нормальной эксплуатации, важной для безопасности.

13 Система нормального электроснабжения (СНЭ)

13.1 Описание системы нормального электроснабжения

Потребители третьей группы при нормальной эксплуатации обеспечиваются рабочим и резервным питанием. Выполнению этой схемы служат схемы рабочего и резервного электроснабжения, образующие систему нормального электроснабжения.

Система нормального электроснабжения обеспечивает питание потребителей установки во всех режимах работы, кроме полной потери внешнего электроснабжения.

При потере внешнего электроснабжения установка переводится в режим расхолаживания.

Система нормального электроснабжения включает в себя:

- два независимых питающих внешних источника (первый источник- энергосистема, основное питание "ОП"; второй источник - ТЭЦ, автономное питание "АП");
- три секции комплектного распределительного устройства (КРУ) 6 кВ;
- открытое распределительное устройство (ОРУ) 6 кВ с 8-ю силовыми трансформаторами;
- три распределительных щита: РЩ-26, РЩ-23, РЩ-12;
- трансформаторы 8ТС, 9ТС;
- 8 щитов станций управления (ЩСУ);
- кабельные связи;
- три сухих трансформатора (Т1, Т2, Т3), из них: Т 1 и Т 2 на напряжение 6/0,23 кВ, Т 3 на напряжение 6/0,4 кВ.

Первая и вторая секции КРУ-6кВ получают питание по двум кабельным линиям Л-1А, Л-1Б с ЦРП (основное питание ОП). Секции соединены межсекционным выключателем ВС I-II с устройством АВР (автоматическое

включение резерва).

Третья секция КРУ-6кВ п./ст. 1 запитывается от ТЭЦ по кабельной линии ТЭЦ - автономное питание (АП). Для резервирования питания III секции КРУ – 6кВ предусмотрена межобъектовая кабельная линия 1-114, нормальное положение которой - отключено.

Секции КРУ-6кВ укомплектованы ячейками типа К-104М в сейсмостойком исполнении.

Распределение нагрузок между секциями выполнено таким образом, чтобы при выходе из строя одной из секций сохранились электроприемники, необходимые для нормального расхолаживания установки:

- главные циркуляционные насосы ГЦЭН № 1, 2, 3 работают от “ОП”, а ГЦЭН №4 - от “АП”;
- насосы оборотного водоснабжения 20 НДН № 1, 2 работают от “ОП”, а 20 НДН № 3, 4 - от “АП”.

К секциям КРУ - 6кВ подключены электродвигатели 20 НДН № 1, 2, 3, 4 и трансформаторы 1ТС÷10ТС, ТЗ 6/0,4 кВ, Т1-Т2 6/0,23. Электродвигатели меньшей мощности питаются напряжением 380В/220В от распределительных устройств и щитов станций управления.

13.2 Управление и контроль системы

Управление схемами рабочего и резервного питания производится с двух мест:

- по месту с ячеек КРУ-6кВ, панелей распределительных щитов;
- со щита дежурного электрика.

13.3 Нормальное функционирование системы

В нормальном режиме все секции КРУ-6кВ находятся в работе:

- I и II секции КРУ-6кВ (ОП) запитаны каждая по своей линии от ЦРП;

- схема АВР между I и II секциями готова к автоматическому включению;
- III секция КРУ-6кВ (АП) запитана по своей линии от ТЭЦ, при этом генераторы ТЭЦ работают изолированно от энергосистемы;
- включены в работу все трансформаторы (1ТС÷10ТС, Т1, Т2), кроме трансформатора Т3, который включают только для заряда аккумуляторных батарей системы САЭ,
- включены все вводные рубильники распределительных щитов;
- межсекционные рубильники (МСР) в распределительных щитах, отключены, кроме МСР III –VI щита РЩ-23, МСР I-III щита РЩ-26 и МСР I-II сек. ЩПТ-12.

Все потребители электроэнергии обеспечены основным (от ОП) и автономным (от АП) питанием.

13.4 Функционирование системы при отказах

Наиболее тяжелые отказы, которые могут вызвать потерю одного из источников электроснабжения:

- повреждение питающих линий 6кВ;
- выход из строя секций КРУ-6кВ (К.З на шинах с последующим выходом из строя секции, пожар в помещениях где находятся ячейки с масляными выключателями 6кВ;

Но и при потере одного источника электроснабжения наличие второй независимой схемы электроснабжения позволит провести расхолаживание установки.

13.5 Исчезновение напряжения на I или II секции КРУ-6кВ (от “ОП”)

В случае повреждения на линии Л-1А (или л-1Б) срабатывает АВР, при этом отключится обесточившаяся линия и включится секционный выключатель между I и II секциями КРУ-6кВ,

Выдержка времени работы защит основных электроприводов установлена более времени срабатывания АВР, поэтому при таком отказе в схеме нормального электроснабжения это оборудование не отключится.

13.6 Одновременное исчезновение напряжения на I и II секциях КРУ-6кВ

В этом случае основная часть потребителей отключается. В работе остаются потребители, подключенные к сети бесперебойного питания (I канал САЭ). Следует команда на запуск ДЭС данного канала САЭ и по готовности дизель-генератора к нему подключается нагрузка (потребители II группы). Установка переводится в режим расхолаживания.

13.7 Исчезновение напряжения на III секции КРУ-6кВ (от “АП”)

При этом происходит события, описанные в пункте 2.4.2. Срабатывает II канал системы САЭ.

Установка переводится в режим расхолаживания.

13.8 Одновременное исчезновение напряжения от “ОП” и “АП”

При этом включаются в работу оба канала системы САЭ и установка переводится в режим расхолаживания.

14 Система аварийного электроснабжения

14.1 Описание системы аварийного электроснабжения

Система аварийного электроснабжения (САЭ) является системой электроснабжения потребителей систем безопасности реакторной установки во всех режимах работы, в том числе, при потере рабочих и резервных внешних источников электроснабжения. От системы САЭ получает питание также часть потребителей систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности, например, основная часть системы контроля и управления.

Принцип построения САЭ основан на двухканальной структуре основных технологических систем безопасности.

Принята максимально возможная независимость каналов одной САЭ, обеспечиваемая за счет:

- размещения электрооборудования различных каналов в разных электротехнических помещениях;
- разделение кабельных трасс каналов в соответствии с требованиями противопожарных норм (ВСН 01-87);
- выполнение для каждого канала САЭ своих обеспечивающих и управляющих систем (вентиляция, аварийное освещение и т.п.), кабельных трасс.

Предусмотрены следующие сети (установки) электропитания потребителей:

- сеть 0,4кВ 50Гц питания потребителей второй группы (сеть надежного питания);
- сеть 0,4 кВ, 50 Гц питания потребителей первой группы (особая сеть);
- сеть =220В постоянного тока питания потребителей первой группы.

14.2 Нормальное функционирование САЭ

В нормальном режиме эксплуатации САЭ, являясь частью общей схемы электроснабжения, обеспечивает питанием потребителей первой и второй групп, участвующих в технологическом процессе и подключенных непосредственно к распределительным щитам и сборкам этой системы. Электроснабжение распределительных щитов и сборок от энергосистемы осуществляется следующим образом:

- распределительные щиты и сборки надежного питания получают питание от секций 0,4кВ нормального питания;
- распределительные секции и сборки бесперебойного питания, получают питание через переключающиеся устройства I-II-ABP-1,2, подключенные к распределительным щитам питания.

Аккумуляторные батареи работают в режиме постоянного подзаряда. Дизель-генераторы находятся в ждущем (дежурном) режиме, готовые к пуску. Их собственные нужды обеспечиваются питанием и нормально функционируют, проводится периодическое опробование дизель-генераторов.

При потере внешнего электроснабжения, т.е. отказе в работе системы нормального электроснабжения, по сигналу снижения напряжения на первичной секции 0,4кВ надежного питания до $0,5 U_{ном.}$, на время более 3 сек. происходит запуск дизель-генератора и последующее подключение потребителей второй группы.

Во время запуска дизель-генератора потребители первой группы получают питание от разряжающейся аккумуляторной батареи через устройства I-II-ABP-1,2. После запуска дизель-генератора ($5 \div 15$ сек) аккумуляторная батарея переходит в режим постоянного подзаряда.

При потере питания обеими первичными секциями надежного питания (полная потеря внешнего электроснабжения), описанная выше последовательность событий происходит в обоих каналах САЭ.

14.3 Функционирование САЭ при отказах

Влияние большинства единичных отказов на функционирование САЭ ограничено благодаря следующим решениям:

- резервирование электротехнических элементов и устройств;
- постоянный контроль состояния основных элементов схемы.

Анализ показывает, что при нормальной эксплуатации установки, любой возникающий единичный отказ элементов системы влияет только на один из каналов САЭ. При этом в повреждённом канале может отказать в работе также только часть схемы надежного питания или бесперебойного питания, или постоянного тока.

14.4 Схема аварийного электроснабжения потребителей 2 й группы

Как следует из схемы № 1, два независимых канала аварийного электроснабжения потребителей второй группы имеют одинаковую структуру. Каналы автономны между собой, прежде всего по источникам питания.

Первый независимый источник питания - энергосистема (основное питание "ОП").

Второй независимый источник питания - специально выделенные генераторы ТЭЦ, которые работают изолированно от энергосистемы, и являются автономным источником электроснабжения ("АП").

В качестве независимых резервных источников питания принятые автоматизированные дизель-генераторные установки мощностью 500 кВт типа КАС-500А. Каждый канал аварийного электроснабжения имеет в своем составе распределительные устройства и коммутационные, а также кабельные коммуникации.

Оборудование САЭ расположено:

- дизель-генераторные установки, обслуживающие каждая свой канал САЭ в двух отдельно стоящих зданиях. Каждая из установок автономна по вспомогательным системам и независима в пожарном отношении;

- распределительные щиты и панели переключения питания каждого из каналов САЭ в разных помещениях основного здания.

Потребители мощностью более 10 кВт. каждого канала САЭ подключены к первичным секциям 0,4 кВ (щиты 1ШР,2ШР). Эти щиты через панели АВР (1ПУ, 3ПУ) запитаны от независимых источников нормального питания (ОП и АП соответственно) и от независимых резервных источников - дизель-генераторных установок.

Для питания потребителей 0,4 кВ мощностью менее 10 кВт предусмотрены сборки РШЗА.

К распределительным щитам и сборкам надежного питания подключены потребители второй группы, как систем безопасности, так и систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности. Подключение потребителей нормальной эксплуатации и кабельные трассы к ним выполнены таким образом, чтобы обеспечивалась независимость каналов надежного питания.

14.5 Схема аварийного электроснабжения потребителей 1 й группы

Схема аварийного электроснабжения включает в себя схемы сетей бесперебойного питания и постоянного тока (см. схемы № 2 и № 3). Каждая установка постоянного тока состоит из:

аккумуляторной батареи (АБ) из элементов типа 12OCSM на напряжение =220В, являющейся автономным источником питания потребителей постоянного тока;

- зарядно-подзарядного выпрямителя типа ТППС-800 (выпрямитель №1,№2).

Установка бесперебойного питания состоит из:

- инвертора типа ПТС-400(АБП №1÷№4);
- двух переключающих устройств типа ТКЕП-100(I,II-ABP-1,2)
- двух полусекций щита бесперебойного питания.

Для потребителей, допускающих перерыв в электроснабжении на время

автоматического переключения питания (ГЦЭН №3,4) предусмотрены инверторы типа ПТС-400 (АБП №3, №4), преобразователи частоты 50/25Гц типа ЭКТ-2Р-400/380(ПЧ-№3, №4).

Аккумуляторные батареи работают в режиме постоянного подзаряда, который осуществляется выпрямителем, подключенным через панели АВР к системе нормального питания и ДЭС.

I и II секции бесперебойного питания (ЩБП-12) в нормальном режиме получают питание от аккумуляторных батарей через переключающие устройства I, II-АВР-1,2 типа ТКЕП, подключенные к АБП №1, №2. При потере питания от АБП №1, №2 переключающие устройства, через резервный ввод подключенные к секциям надежного питания (1ШР, 2ШР) подают питание на секции ЩБП-12.

Сборки РШЗА бесперебойного питания подключены по рабочему вводу к секциям щита бесперебойного питания, а по резервному вводу к щитам надежного питания.

К распределительным устройствам и сборкам бесперебойного питания подключены потребители I группы системы безопасности и систем нормальной эксплуатации, важных для безопасности.

Подключение потребителей нормальной эксплуатации и кабельные трассы к ним выполнены таким образом, чтобы обеспечивалась независимость каналов бесперебойного питания.

14.6 Управление и контроль системы

Управление схемой надежного питания 0,4 кВ осуществляется:

- по месту вводами от дизель-генераторов на щиты надежного питания 1ШР, 2ШР со шкафов данных щитов;
- со щитов "О" и "РЦУ" дизель-генераторами в части операций пуска-остановка дизеля. При этом на щите "О" и "РЦУ" установлены только

кнопки управления дизелем.

Включение и отключение генераторного выключателя производится автоматически после пуска или останова дизеля по схеме автоматики самой дизельной.

На щитах “О” и “РЦУ” предусмотрены контроль за основными параметрами ДЭС с помощью табло общей сигнализации.

На табло вынесены следующие сигналы:

- понижение уровня топлива;
- авария
- электростанция включена;
- неисправность КАС-500;
- перегрузка генератора;
- понижение температуры воздуха перед блоком охлаждения;
- повышение температуры воздуха в М.З. ДЭС.

Кроме того, на щит “О” выносятся сигнализация "вызов" на сборку РШЗА и “пожар в ДЭС”. Сигнализация о неисправности выпрямителей ТППС-800(выпрямитель №1, №2) и инверторов ПТС 400(АБП №1÷№4) вынесена на щит “Э”.

Автоматика в сети 0,4кВ надежного питания предусматривается в объеме запуска автономных резервных источников питания (дизель-генераторов) и перевода питания нагрузки щитов 1ШР, 2ШР на них.

Схема автоматического включения ДЭС и подключения нагрузки для каждого канала САЭ индивидуальная и независима.

Схема срабатывает при снижении напряжения на секции надежного питания до 0,5 Уном. на время более 3 сек. и действует на запуск дизель-генератора, включение генераторного выключателя в ДЭС и подключение нагрузки.

В режиме полного обесточивания срабатывают дизель-генераторы обоих каналов. При достижении генератором номинальных параметров

автоматически включается генераторный выключатель, дизель-генератор подключается к секции надежного питания и подхватывает нагрузку.

Режим периодического опробования каждого дизель-генератора под нагрузкой (параллельно с источниками нормального питания) осуществляется из помещения ДЭС.

Синхронизация дизель-генератора и системы в режиме опробования производится с помощью блока автоматической синхронизации, предусмотренного в схеме автоматики самого дизель-генератора. Защита сети 0,4кВ надежного питания от токов К.З. осуществляется с помощью расцепителей автоматических выключателей при питании от системы нормального электроснабжения. При питании от дизель-генератора защита осуществляется с помощью релейной защиты самого дизель-генератора и выносной защиты от однофазных К.З.

Заключение

Выпускная квалификационная работа выполнена на тему «Электроснабжение исследовательской реакторной установки».

В работе произведён расчёт электрических нагрузок, с учётом компенсации реактивной мощности выбраны силовые трансформаторы ТМ-630/6-10-68, ТМ-100/6-10-66, ТМ-400/6-10-68 которые обеспечивают подачу напряжения к электроприёмникам.

Произведён расчёт и выбор сечения кабеля на высокой стороне (6кВ) и аппаратуры защиты.

В выпускной квалификационной работе так же произведен расчёт освещения производственных и служебных помещений, выбраны источники света и светильники.

Произведён выбор современного электрооборудования, что позволит продлить срок использования самой реакторной установки.

Список использованных источников

1. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). -7-е изд. С изм. И доп. – М.: Госэнергонадзор,2001.
2. Абрамова Е. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие .: ОГУ 2012 г.
3. Сибикин Ю. Д. Основы электроснабжения объектов: учебное пособие. – Директ-Медиа • 2014 год.
4. Перенапряжения и молниезащита : учебное пособие. – Директ-Медиа 2015 г.
5. Гужов Н. П. Системы электроснабжения: учебник. – НГТУ • 2015 год.
6. Сибикин Ю. Д. Электрические подстанции : Учебное пособие для высшего и среднего профессионального образования: учебное пособие. – Директ-Медиа • 2014 год.
7. Пилипенко В. Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учебно-методическое пособие. – ОГУ • 2014 год.
8. Стрельников Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие: - НГТУ • 2013 год
9. Шлейников В. Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. – ОГУ • 2012 год
10. Шлейников В. Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия: учебное пособие.: - ОГУ • 2012 год.
11. Филиппова Т. А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник.: - НГТУ • 2014 год
12. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебное пособие.: - Кнорус, 2013 г.
13. Ополева Г. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие.: - Форум 2017г.

14. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник.: - Москва 2014г.
15. Горохов В. Л. Расчет асинхронных двигателей.: - Магнитогорск 2015г.
16. Дубина И. А. Электроэнергетические системы и сети.: - Магнитогорск 2015г.
17. Никитко И. Универсальный справочник электрика.: Москва 2014г.
18. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений.:— Москва : КноРус, 2015
19. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов.:— Москва : МЭИ, 2015
20. Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода.: — Москва : СОЛОН-Пресс, 2015г.