

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО СПбПУ)
Институт энергетики
Высшая школа электроэнергетических систем

КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине “Современное оборудование и проектирование систем
электрообеспечения”

“Выбор основного оборудования и компоновочные решения
ЗРУ РП 6(10) кВ и КТП 6(10)/0,4 кВ”
(семестр 2)

Студент группы
3241302/20202

Семуква Ю.С.

подпись, дата

инициалы и фамилия

Оценка выполненной студентом работы:

Преподаватель,
доц., к.т.н., доц.

В.С. Чудный

подпись, дата

инициалы и фамилия

Санкт-Петербург – 2023

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсовой работы по дисциплине

“Современное оборудование и проектирование систем электроснабжения”

студенту Семуковой Юлии Сергеевны группа 3241302/20202 семестр 2

1. Тема работы: “Выбор основного оборудования и компоновочные решения ЗРУ РП 6(10) кВ и КТП 6(10)/0,4 кВ”
2. Срок сдачи студентом законченной работы 11.05.2023г.
3. Исходные данные по работе: в соответствии с вариантом задания 20202 -№ 2-9
4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):
 - выбор схемы, оборудования и габаритов ЗРУ 6(10) кВ с учетом требований ПУЭ (Гл.4.2), компоновка оборудования РП в контейнере
 - расчет тока трехфазного К.З. на шинах 6(10) кВ и 0,4 кВ. КТП 6(10)/0,4 кВ
 - выбор схемы РУ6(10) кВ и основного оборудования КТП
 - составление однолинейной схемы и определение габаритов РУ 0,4кВ
 - компоновка оборудования КТП в ж/б модулях (БКТП) и в контейнере (КТПК).
5. Перечень графического материала (с указанием обязательных рисунков): однолинейные схемы и компоновка основного оборудования ЗРУ 6(10) кВ РП, БКТП и КТПК 6(10)/0,4 кВ.
6. Дата выдачи задания 09.02.2023г.

Преподаватель

(подпись)

В.С. Чудный

(инициалы, фамилия)

Содержание

1. Введение.....	4
2. Исходные данные.....	5
3. Выбор схемы, оборудования и габаритов ЗРУ 10 кВ ЦП.....	6
3.1. Технические характеристики оборудования РП D-12РТ.....	6
3.2. Технические характеристики оборудования РП «PremSet».....	11
3.3. Сравнение компоновок при КРУ «D-12РТ» и при КСО «Premset». Выбор ТСН и организация учета электроэнергии.....	14
4. Выбор сечения кабеля, расчет тока трехфазного КЗ на шинах БКТП/КТПК. 16	
5. Выбор схемы РУ 10 кВ и основного оборудования КТП.....	17
5.1. Технические характеристики оборудования КСО «ОнегаМ».....	17
5.2. Технические характеристики оборудования КРУЭ «SafeRing».....	20
5.3. Сравнение оборудования КРУЭ «SafeRing» и КСО «ОнегаМ».....	23
6. Расчет тока трехфазного КЗ на шинах 0,4 кВ.....	23
6.1. Выбор силовых трансформаторов 10/0,4 кВ.....	23
6.2. Выбор кабеля для связи силового трансформатора РУ 10/0,4 кВ.....	24
7. Выбор оборудования БКТП/КТПК 0,4 кВ.....	27
8. Компоновка оборудования КТП.....	29
Заключение.....	31

1. Введение

В данной курсовой работе произведен выбор основного оборудования и компоновочные решения ЗРУ РП 6(10) кВ и КТП 6(10)/0,4 кВ. Выполнены следующие пункты:

- выбор схемы, оборудования и габаритов ЗРУ 6(10) кВ с учетом требований ПУЭ (Гл.4.2), компоновка оборудования РП в контейнере;
- расчет тока трехфазного К.З. на шинах 6(10) кВ и 0,4 кВ. КТП 6(10)/0,4 кВ;
- выбор схемы РУ6(10) кВ и основного оборудование КТП;
- составление однолинейной схемы и определение габаритов РУ 0,4кВ;
- компоновка оборудования КТП в ж/б модулях (БКТП) и в контейнере (КТПК).

2. Исходные данные

Таблица 2.1 – Исходные данные

№ Вар	$U_{\text{шт}}$	$I_{\text{КРУ}}$	$I_{\text{КСО}}$	$I_{\text{кз}}$	$L_{\text{кл}}$	КРУ D-12РТ	КСО Premse t	КСО ОнегаМ	КРУЭ SafeRing SafePlus	БКТП (ТМГ)	КТПК (сухой)
	кВ	А	А	кА	кМ	ЗРУ ЦП		РУ БКТП, КТПК		$S_{\text{ном}}$, кВА	
9	10	1250	1250	16	4	+	+	+	+	630	1000

На рисунке 2.1 представлен центр питания - 2-секционная РП 10 кВ, от которого питается проектируемая ТП 10/0,4 кВ.

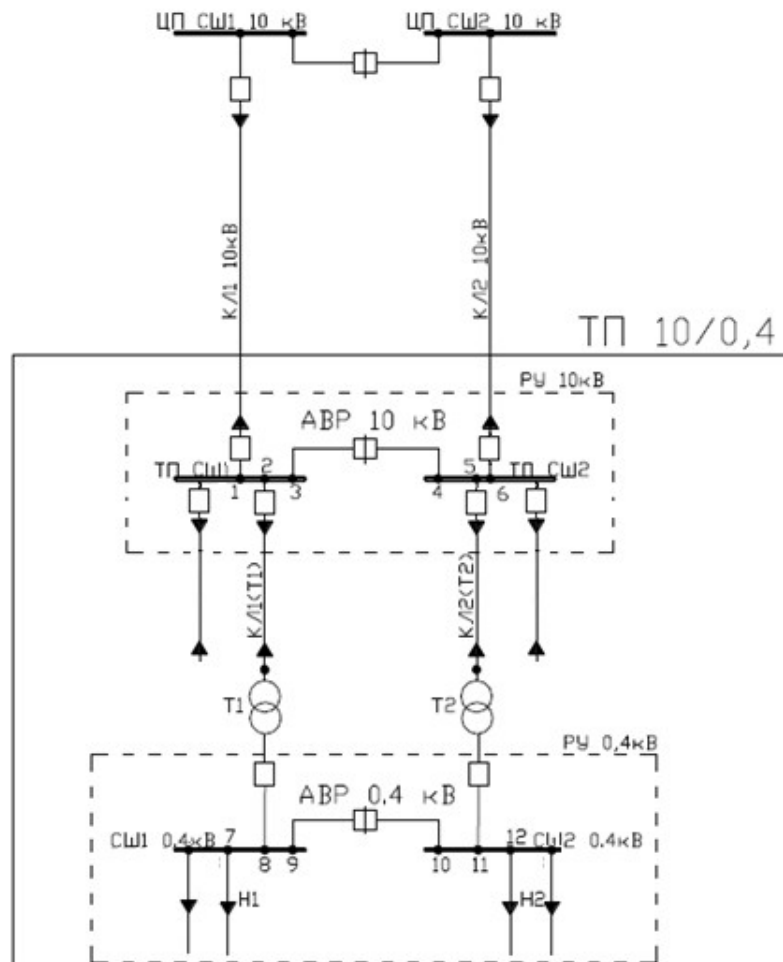


Рисунок 2.1 – Общая схема электроснабжения

3. Выбор схемы, оборудования и габаритов ЗРУ 10 кВ ЦП.

Центр питания – 2-х секционная РП 10 кВ, номинальный ток сборных шин 1250 А, ток трехфазного к.з. на секции сборных шин 16 кА.

3.1. Технические характеристики оборудования РП D-12РТ.

Первый вариант исполнения ЗРУ центра питания - применение КРУ «Классика» серии D-12РТ с воздушной изоляцией от производителя «Таврида Электрик». ЗРУ РП 10 кВ выполняется двухсекционным. Шкафы КРУ оснащены вакуумными выключателями. Технические характеристики шкафа КРУ серии D-12РТ приведены в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1 – Технические характеристики D-12РТ

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток сборных шин, А	630; 1000; 1250; 1600
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000; 1250; 1600
Номинальный ток отключения выключателей, встроенных в КРУ, кА	20; 25
Ток термической стойкости, кА*	20; 25
Ток электродинамической стойкости (амплитуда), кА*	51; 64
Время протекания тока термической стойкости, с: • для главных цепей • для цепей заземления	3 1
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В	до 220**
Степень защиты по ГОСТ 14254:	IP4X
Габаритные размеры шкафов, мм: ширина глубина высота	600***; 750**** 1100 2095; 2245*****
Масса, кг	Не более 600
*Термическая и электродинамическая стойкость шкафов КРУ может быть ограничена аналогичными параметрами встраиваемых трансформаторов тока. **Любое стандартное напряжение постоянного, переменного или выпрямленного тока. ***Шкафы на номинальный ток до 1250 А, ток термической стойкости не более 25 кА. ****В том числе все шкафы с выключателями нагрузки. *****Шкаф с увеличенным отсеком вспомогательных цепей.	



КРУ серии D-12PT комплектуется из отдельных шкафов, в каждом из которых размещается аппаратура одного присоединения к сборным шинам (рисунок 3.1.1.).

На присоединение устанавливаются два комплекта ТТ: один для цепей релейной защиты, второй для коммерческого учета электроэнергии. С целью обеспечения высокой локализационной способности и эксплуатационной безопасности корпус шкафа разделен на отсеки: – сборных шин; – высоковольтный отсек; – вспомогательных цепей.

Рисунок 3.1.1. – Шкаф D-12PT

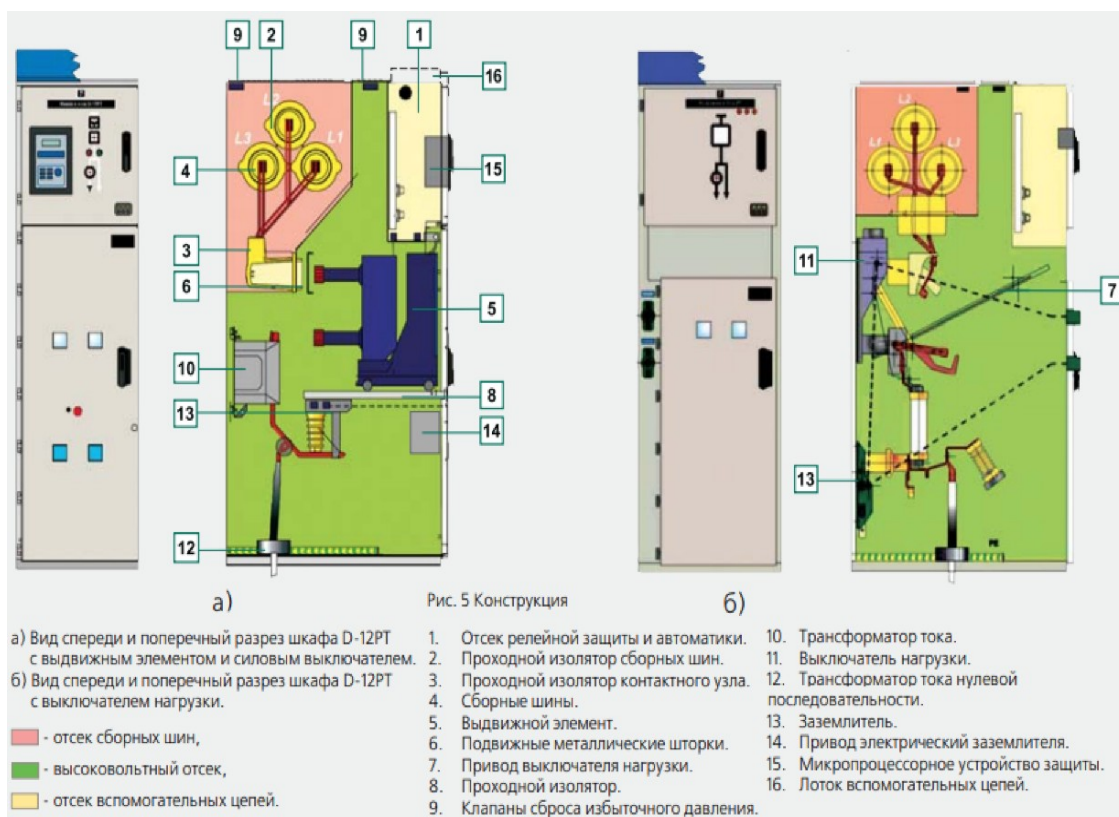


Рисунок 3.1.2 - Конструкция шкафа КРУ серии D-12PT

Встраиваемое оборудование:

- Вакуумный выключатель: модель ВВ/TEL (номинальный ток 1250 А, номинальный ток отключение 20 кА);
- Выключатели нагрузки: модель NALF-12 АBB (номинальный ток 1250 А, ток термической стойкости 30 кА/сек);
- Измерительные трансформаторы тока: модель ТРУ-4 АBB коэффициент трансформации 10-3000/5 ток термической стойкости 2-100 кА/сек;
- Измерительные трансформаторы напряжения: модель ТJP-4 АBB, модель НАЛИ-СЭЩ-6 Электрощит. Номинальное напряжение вторичной обмотки 100 В;
- Трансформаторы нулевой последовательности: модель CSH-120 Schneider Electric номинальное напряжение 0.66 кВ;
- Трансформаторы собственных нужд: ТЛС-40 Свердловский завод. Номинальная мощность 40 кВА. Сухие трансформаторы с литой изоляцией. Габариты: 935 мм - ширина, 510 мм - высота, 913 мм – глубина;
- Ограничители перенапряжения: ОПН-РТ/TEL 10 кВ наибольшее длительно допустимое напряжение 11,5 кВ Таврида Электрик.

Однолинейная схема КРУ D-12РТ:

Таблица 3.1.2 – Типовые ячейки КРУ D-12РТ

Наименование присоединения	Число ячеек	№
Вводная ячейка	2	3
Отходящие присоединения	16	3
Ячейка с секционным выключателем	1	6
Ячейка с секционным разъединителем	1	10
Отходящая линия к ТСН	2	13
Питание ТСН	2	3
Отходящая линия к измерительному ТН	2	11

По заданию число отходящих кабельных линий принимается (КЛ) $n_{\text{КЛ}} = 8$. На рисунке 3.1.3 представлена принципиальная однолинейная схема РУ 10 кВ на базе типовых ячеек КРУ серии D-12РТ из таблицы 3.1.2.

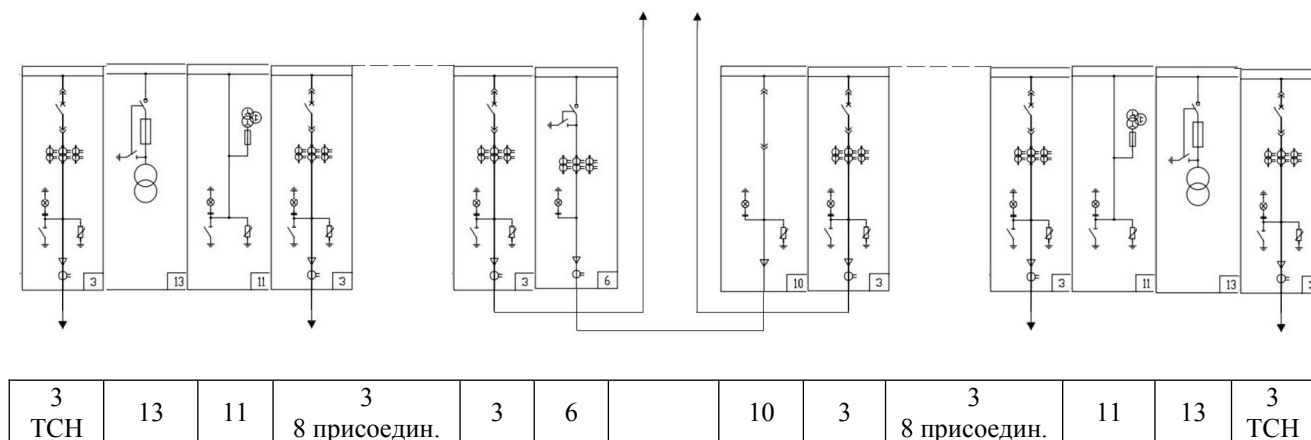


Рисунок 3.1.3 - Принципиальная однолинейная схема РУ 10 кВ на базе ячеек КРУ серии D-12РТ

Компоновка ЗРУ РП в контейнере:

Компоновка ЗРУ РП в контейнере определяется правилами ПУЭ (Глава 4.2):

- Ширина коридора обслуживания должна обеспечивать удобное обслуживание установки и перемещение оборудования, причем она должна быть не менее (считая в свету между ограждениями): 1 м - при одностороннем расположении оборудования; 1,2 м - при двустороннем расположении оборудования.
- Ширина коридора обслуживания КРУ с выкатными элементами и КТП должна обеспечивать удобство управления, перемещения и разворота оборудования и его ремонта.
- При длине РУ более 7 до 60 м должны быть предусмотрены два выхода по его концам; допускается располагать выходы из РУ на расстоянии до 7 м от его торцов.

В требованиях к строительной части ячеек КРУ D-12РТ: дверной проем должен иметь высоту не менее 2500 мм, ширину не менее 1000 мм и не иметь порогов. Шкафы устанавливаются в один или два ряда над кабельным каналом. Минимальное расстояние между задней стенкой шкафа и стеной помещения составляет 100 мм.

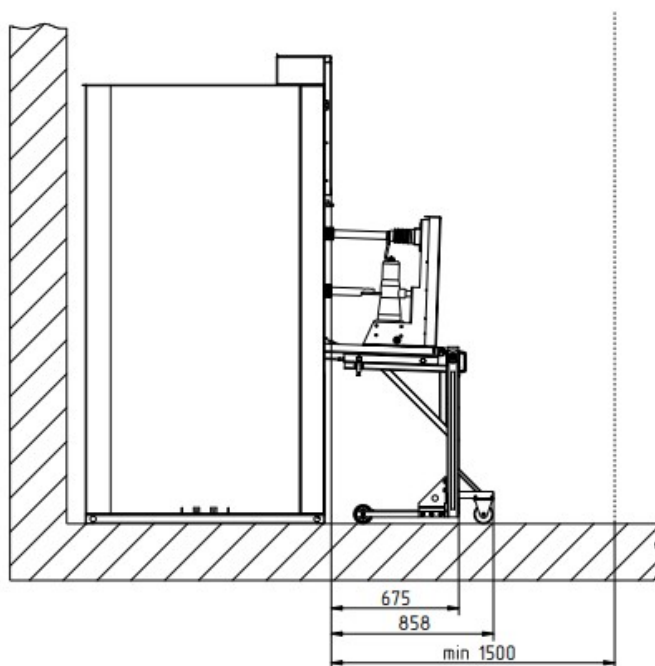


Рисунок 3.1.4 – Односторонне расположение шкафов КРУ D-12РТ в помещении

Размещение оборудования производится в двух «Морских» контейнерах с стандартными габаритами. Внешние размеры: длина – 12 метров, ширина – 3 метра, высота – 3 метра. При габаритах ячейки 750 мм × 1100 мм получается компоновка на рисунке 3.1.5 (расположение оборудования – одностороннее).

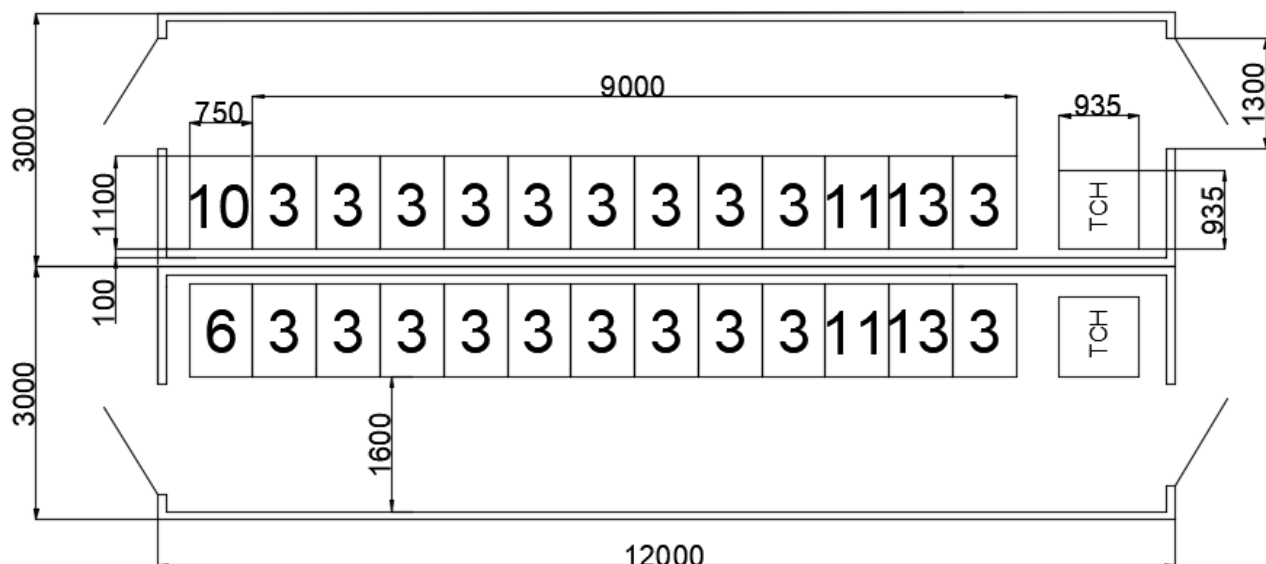


Рисунок 3.1.5 - Компоновка РУ в контейнере с ячейками КРУ серии D-12PT

3.2. Технические характеристики оборудования РП «PremSet».

Второй вариант исполнения ЗРУ центра питания – использование КСО серии «PremSet» производства компании «Schneider Electric». Распределительные устройства Premset являются модульными и могут эксплуатироваться в тяжелых условиях окружающей среды. Они характеризуются высочайшей надежностью и эффективностью и пригодны для многих областей применения.

В каталоге Premset для распределительной сети в ЦП 6-10 кВ применяются ячейки КРУ MCset, для РП/РТП- модульные ячейки Premset, и наконец, для ТП 6-10 кВ – моноблоки RM 6. Технические характеристики ячеек КСО «PremSet» приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – Технические характеристики КСО «PremSet»

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток сборных шин, А	1250
Номинальный ток главных цепей, А	1250
Номинальный ток отключения выключателей, встроенных в КРУ, кА	25
Ток термической стойкости, кА	25
Время протекания тока термической стойкости, с	3

Конструкция шкафов приведена на Рисунок 3.1.1 , ячеек - на Рисунок

3.2..2.2.

Конструкция

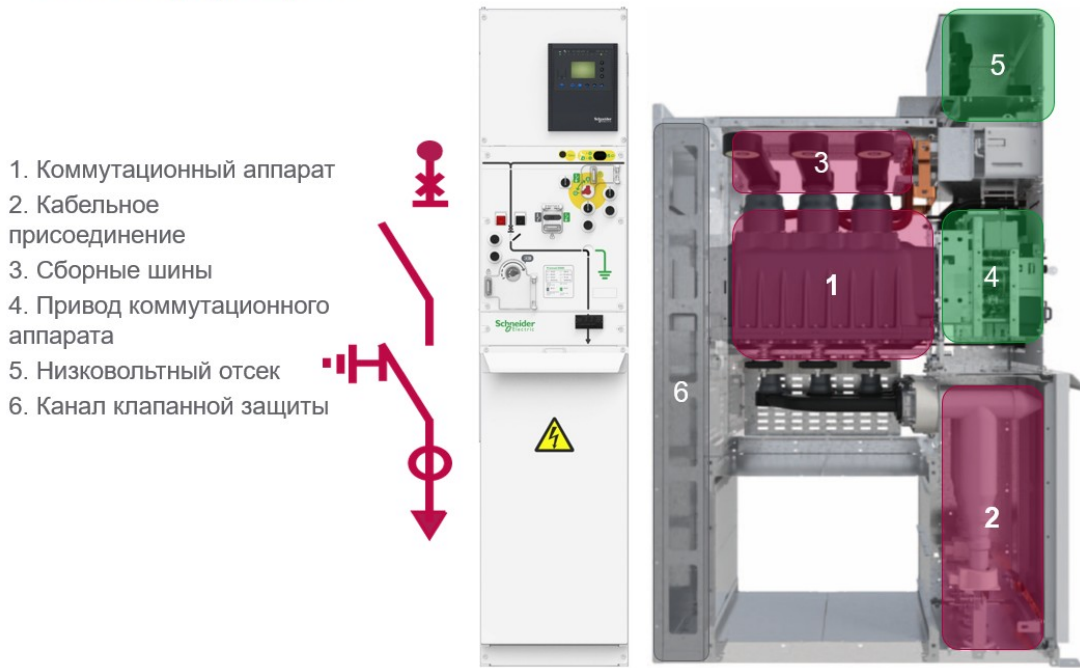


Рисунок 3.1.1 - Конструкция шкафов Premset

Ячейка

Ячейка = Совокупность функциональных блоков

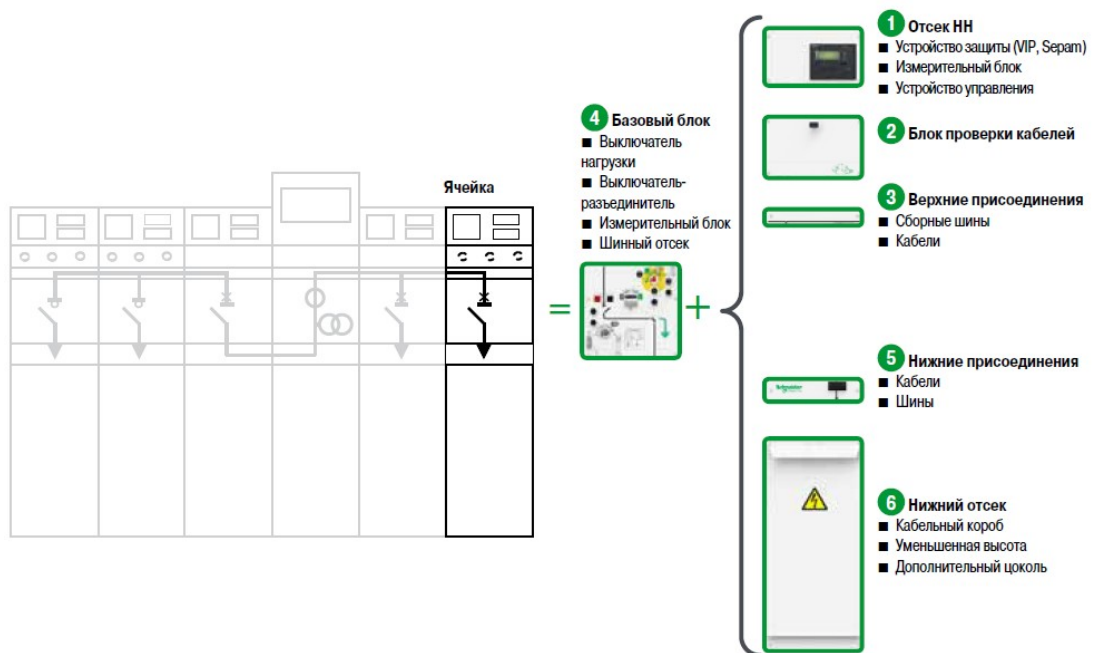


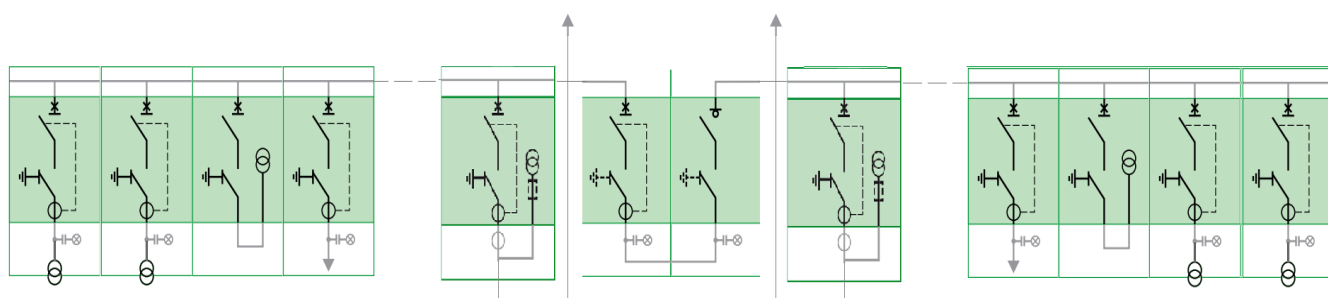
Рисунок 3.2.2 - Конструкция ячейки

Однолинейная схема КСО «PremSet»:

Число отходящих кабельных линий принимаем (КЛ) $n_{\text{КЛ}} = 8$. На рисунке 3.2.3 представлена принципиальная однолинейная схема РУ 10 кВ на базе типовых ячеек КСО «PremSet» из таблицы 3.2.2.

Таблица 3.2.2 – Типовые ячейки КСО «PremSet»

Наименование присоединения	Число ячеек	№
Вводная ячейка	2	D12H-MA
Отходящие присоединения	16	D12H
Ячейка с секционным выключателем	1	I12T
Ячейка с секционным разъединителем	1	D12H
Отходящая линия к ТСН	4	D12H
Отходящая линия к измерительному ТН	2	VTM-D



D12H	D12H	VTM-D	D12H	D12H-MA	D12H	I12T	D12H-MA	D12H	VTM-D	D12H	D12H
Н		-D	8 присоед	MA			MA	8 присоед	-D		

Рисунок 3.2.3 - Принципиальная однолинейная схема РУ 10 кВ на КСО «Premset»

Компоновка ЗРУ РП в контейнере:

Размещение оборудования производится в двух блок-контейнерах с нестандартными габаритами, производства «Модульные решения». Внешние размеры: длина – 9 метров, ширина – 2,5 метра, высота – 3 метра. При габаритах ячейки 375 мм × 900 мм получается компоновка на рисунке 3.2.4 (расположение оборудования – одностороннее). Компоновка ЗРУ РП в контейнере определяется правилами ПУЭ (Глава 4.2), которые прописаны в пункте 3.1.

В требованиях к строительной части ячеек КСО «Premset»: дверной проем должен иметь высоту не менее 2500 мм, ширину не менее 1000 мм и не иметь порогов. Шкафы устанавливаются в один или два ряда над кабельным каналом. Минимальное расстояние между задней стенкой шкафа и стеной помещения составляет 100 мм.

Размеры ячеек Premset едины для всей системы. Ширина: 375 мм для всех

выключателей нагрузки, выключателей-разъединителей и измерительных блоков с экранированной твердой изоляцией. Измерительные блоки с воздушной изоляцией и вводной измерительный блок имеет ширину 750 мм, но полностью совместимый с остальной системой. Глубина: 900 мм (1100 с газоотводным каналом).

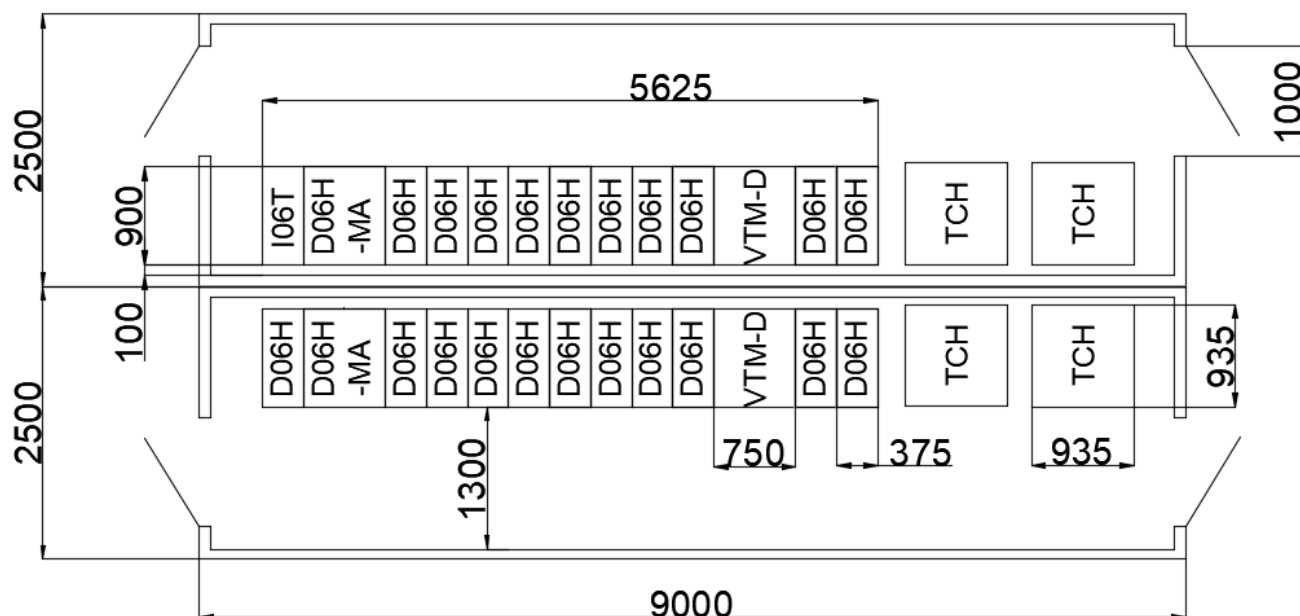


Рисунок 3.2.4 - Компоновка РУ в контейнере с ячейками «Premset»

3.3. Сравнение компоновок при КРУ «D-12РТ» и при КСО «Premset». Выбор ТСН и организация учета электроэнергии.

Сравнивая два варианта, можно выделить преимущества как КРУ «D-12РТ», так и КСО «Premset»

Таблица 3.3.1 – Сравнение КРУ «D-12РТ» и КСО «Premset»

Параметр сравнения	КРУ «D-12РТ»	КСО «Premset»
Механический ресурс	10 000	10 000
Коммутационная стойкость на 25 кА	100	50
Изоляция токоведущих частей	Воздушная	Экранированная твердая изоляция
Тип выключателя	Вакуумный	Вакуумный
Исполнение ячеек	Выкатное	Стационарное
$I_{ном}$ сборных шин	630-1600	630-1250
Габариты (ДхШхВ)	1100 x 750 x 2150	900 x 375 (750) x 1350

Сравним оба варианта. Сразу стоит отметить, что РП на базе ячеек КРУ «Premset» по размеру меньше, чем на базе КСО серии «D-12РТ». Это влияет на размер помещения и занимаемое место в контейнере ячеек.

«Premset» - является первым распределительным устройством, представляющим собой систему с экранированной твердой изоляцией, то есть электрическое поле существует только внутри экранированных частей. Это позволяет увеличить срок службы оборудования и снизить общую стоимость владения. Механический ресурс у вакуумного выключателя модели ВВ/TEL 10000 операций, коммутационная стойкость 100 операций по отключению тока 25 кА, 50 операций 31.5кА. В то время как у вакуумных выключателей ячеек Premset D12H механический ресурс совпадает, но коммутационный ресурс ниже 50 отключений 25 кА. Выкатное исполнение ячеек КРУ серии D-12РТ позволяет проще и быстрее обслуживать и производить ремонтные работы. В то время как ячейки Premset при выходе из строя выключателя необходимо разбирать ячейку полностью. Однако выкатное исполнение ячеек снижает безопасность обслуживания, так как такое исполнение наиболее часто приводит к аварийным ситуациям из-за неправильных действий персонала.

Для КСО и КРУ выбирается по 2 ТСН на одну секцию мощностью 40 кВА типа ТЛС (ТЛС-40/10) – сухой трансформатор с литой изоляцией, габариты которого: ширина 935 мм, высота 510 мм, глубина 935 мм. На рисунке 3.3.1. изображен чертеж выбранного ТСН, а в таблице 3.3.2. технические параметры

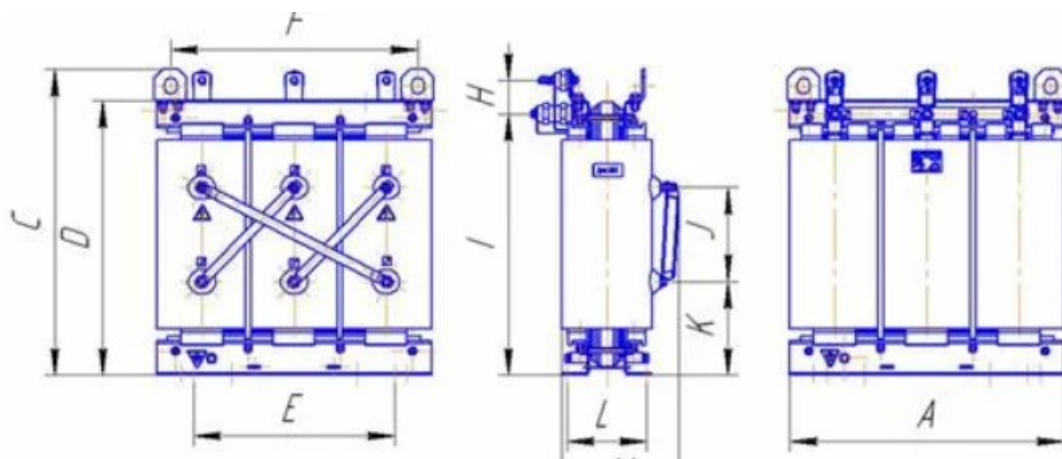


Рисунок 3.3.1 – Чертеж трансформатора серии ТЛС

Таблица 3.3.2 – Технические характеристики ТЛС-40/10

Параметры	ТЛС-25	ТЛС-40	ТЛС-63
Мощность, кВА	25	40	63
Номинальная частота, Гц	50		
Напряжение ВН, кВ	6; 6,3; 10; 10,5		
Напряжение НН, В	400		
Схема и группа соединения	У/Ун-0; Д/Ун-11; У/Д-11; У/Зн-11		
Напряжение кор. замыкания, %	3,7	3,5	2,6
Потери кор. замыкания, Вт	530	700	910
Ток холостого хода, %	2,0	1,8	1,6
Потери холостого хода, Вт	140	200	300
Способ и диапазон регулирования напряжения	ПБВ ± 2х2,5		
Масса, кг	240	300	500

Основным достоинством сухого трансформатора является его негорючесть, однако необходимо более эффективное охлаждение, и стоит он дороже. Также выполняется условие наличия защитного кожуха на трансформаторе, обеспечивающего необходимую степень защиты от пыли и влаги.

Что касается приборов учета, в КРУ «D-12РТ» и КСО «Premset» предусмотрена установка трансформаторов тока на все присоединения и трансформаторов напряжения на каждую секцию. Поэтому дополнительное оснащение приборами не требуется.

4. Выбор сечения кабеля, расчет тока трехфазного КЗ на шинах БКТП/КТПК.

Производится расчёт сечения кабеля по длительно-допустимому току.

$$I_{ном} = 630 \text{ А} < I_{дон} = 365 \cdot 2 = 730 \text{ А}.$$

Выбирается 2 х АПвПу 1х185/25 мм² от производителя «Estralin» два алюминиевых кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена с «треугольным» расположением фаз. Длительно допустимый ток для этого кабеля составляет 365 А при прокладке кабеля в земле.

(<http://estralin.com/files/catalogues/EstralinHVC.pdf>)

Таблица 4.1 - Погонные параметры КЛ

$x_0, \text{ Ом/км}$	$r_0, \text{ Ом/км}$	$I_{дон}, \text{ А}$
0,103	0,164	365

Выбранный кабель проверку прошёл. Сопротивление кабельной линии:

$$r_{кл} = \frac{r_0 * L}{n_у} = \frac{0,164 \cdot 4}{2} = 0,328 \text{ Ом};$$

$$x_{кл} = \frac{x_0 * L}{n_у} = \frac{0,112 \cdot 4}{2} = 0,224 \text{ Ом}.$$

Ток трехфазного КЗ на шинах ЗРУ РП 10 кВ.

Ток трехфазного короткого замыкания на секции шин РП определяется по формуле:

$$I_{КЗ(ЦП)} = \frac{U_{\text{эЭС}} [\text{кВ}]}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{вн}} [\text{Ом}]} = 10,5 \text{ кВ};$$

В соответствии с вариантом задания, ток короткого замыкания от системы, $I_{КЗ}$ составляет 16 кА. Тогда внешнее сопротивление системы определим по формуле:

$$X_{\text{вн}} = Z_{\text{вн}} = \frac{U_{\text{эЭС}}}{\sqrt{3} \cdot I_{КЗ(ЦП)}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 16} = 0,379 \text{ Ом}.$$

Зная сопротивление системы, можно рассчитать эквивалентное сопротивление до точки КЗ, а затем – сам ток короткого замыкания на шинах ТП:

$$Z_{1C} = Z_{2C} = \sqrt{(R_{кл})^2 + (X_{кл})^2} = \sqrt{(0,328)^2 + (0,224)^2} = 0,397 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{экв}} = Z_{\text{вн}} + \frac{Z_{1C} \cdot Z_{2C}}{Z_{1C} + Z_{2C}} = 0,379 + \frac{0,397}{2} = 0,578 \text{ Ом}$$

Ток короткого трёхфазного короткого замыкания на шинах ТП 10 кВ:

$$I_{КЗ(ТП)} = \frac{U_{\text{эЭС}} [\text{кВ}]}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{экв}} [\text{Ом}]} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,578} = 10,48 \text{ кА}$$

5. Выбор схемы РУ 10 кВ и основного оборудования КТП

Будем полагать, что КТП – проходная, двухсекционная. От шин РУ питаются трансформаторы и РУ 0.4 кВ, а также дополнительные потребители.

5.1. Технические характеристики оборудования КСО «ОнегаМ»

Первый вариант исполнения РУ - применение моноблоков «ОнегаМ» производства АО «ПО Элтехника», изображенный на рисунке 5.1.1, технические характеристики прописаны в таблице 5.1.1.



Рисунок 5.1.1 – Моноблок КСО «ОнегаМ»

Моноблок «Онега_М» - компактное комплектное распределительное устройство, предназначенное для работы в составе распределительных устройств трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 10 кВ, с изолированной или заземленной через резистор или дугогасительный реактор нейтралью.

Таблица 5.1.1 - Технические характеристики КСО «ОнегаМ»

п.п.	Наименование параметра	Значение
1	Номинальное напряжение, кВ	6; 10
2	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
3	Номинальный ток главных цепей, А	630
4	Номинальный ток сборных шин, А	630
5	Номинальный ток силовых выключателей, А	1000
6	Ток электродинамической стойкости, кА	51
7	Ток термической стойкости длительностью 3 сек, кА	20
8	Номинальный ток отключения силовых выключателей, кА	20
9	Ресурс по механической стойкости (количество циклов В-тп.-0): - силовых выключателей - выключателей нагрузки и разъединителей - заземляющих разъединителей	50 000 2 000 2 000
10	Коммутационный ресурс (количество циклов В-тп.-0): - силовых выключателей, при токе отключения 20 кА, не менее - выключателей нагрузки, при токе отключения 630 А, не менее	50 100
11	Условия утилизации и количество Sf6	частичное - 0,22 кг
12	Срок службы до списания, лет, не менее	25
13	Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP31

Встраиваемое оборудование:

Моноблок «Онега-М» оснащается силовыми вакуумными выключателями, элегазовыми разъединителями и выключателями нагрузки, системой сборных шин с воздушно-твердой изоляцией.

- Вакуумный выключатель: модель ВВ/TEL (номинальный ток 630 А, номинальный ток отключения 20 кА);
- Выключатели нагрузки: в трехполюсном исполнении с элегазовой изоляцией типа ВНТЭ (номинальный ток 630 А, ток термической стойкости 20 кА/ 3 сек);
- Разъединитель: с элегазовой изоляцией РТЭ (номинальный ток 630 А);
- Измерительные трансформаторы тока: ТОЛ-СЭЦ-10 (коэффициент трансформации 5-3000/5 ток термической стойкости 5-300 кА/сек);
- Ограничители перенапряжения: ОПН-РТ/TEL 10 кВ (наибольшее длительно допустимое напряжение 11,5 кВ «Таврида Электрик»).

В моноблоке «Онега-М» устанавливаются стационарные, но

технологически выкатные или выдвжные вакуумные выключатели ВВ/TEL.

Однолинейная схема КРУ «Онега-М»:

Распределительное устройство собирается в моноблок из набора функциональных модулей. Выберем два моноблока ПИД, технологические параметры которого указаны в таблице 5.1.2.

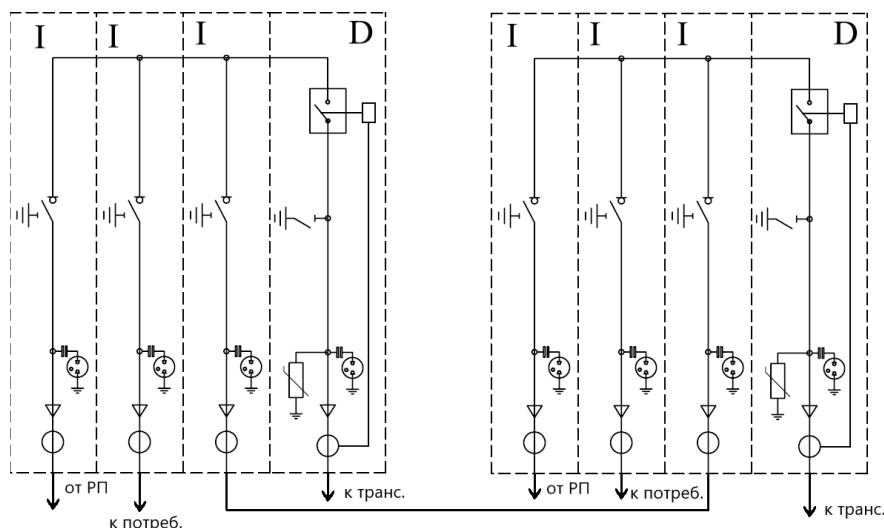


Рисунок 5.1.2 - Однолинейная схема ВН РУ ТП на базе моноблока КРУ «Онега-М»

Таблица 5.1.2. Основные параметры моноблока ПИД

Рабочее напряжение сети, кВ	10
Ток сборных шин, А	630
Силовой вакуумный выключатель VL12	
Номинальный ток, А	630
Ток отключения, кА	20
Элегазовый коммутационный аппарат SL12	
Номинальный ток, А	630
Ток термической стойкости (кА, действ., 3 с)	20
Коммутационный ресурс операций (ресурс привода/ ресурс коммутаций номинального рабочего тока 630А)	2000/100

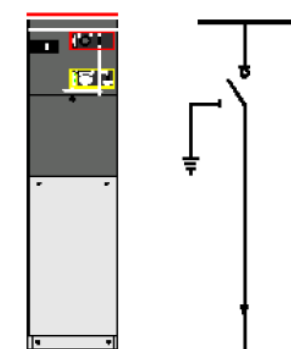
В случае реализации проходной ТП необходимо так же учитывать мощность присоединяемых ТП -это отразится на расчете сечения КЛ, соединяющей РП и ТП. Необходимо также организовать на ТП коммерческий учет при помощи измерительного устройства I-TOR-6-U. Существует два варианта установки измерительных компонентов опорного типа на сборные шины

секции (дополнительная ячейка) или установка на фазы присоединений на место штатных опорных изоляторов.

5.2. Технические характеристики оборудования КРУЭ «SafeRing»

SafeRing – полностью герметичная система с контейнером из нержавеющей стали, который содержит все токоведущие части и коммутационные аппараты. Герметичный стальной контейнер с элегазом, находящимся под небольшим избыточным давлением, обеспечивает высокий уровень надежности, безопасности персонала и минимальные требования к обслуживанию. Для защиты трансформатора концепция SafeRing предлагает выбор между комбинацией выключателя нагрузки с предохранителями и силовым выключателем с устройством релейной защиты. Технические характеристики и основные типы ячеек представлены ниже на рисунках 5.2.1, 5.2.2:

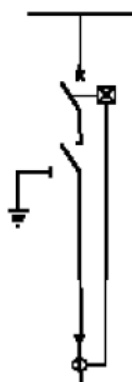
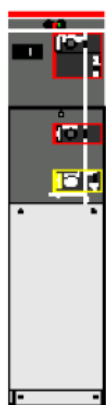
Технические параметры



Глубина: 765 мм
Ширина: 325 мм
Высота: 1336 мм

Номинальное напряжение	кВ	12	17,5	24
Испытательное напряжение промышленной частоты	кВ	28	38	50
Испытательное напряжение грозового импульса	кВ	95	95	125
Номинальный ток	А	630	630	630
Отключающая способность:				
ток нагрузки	А	630	630	630
ток заряда ненагруженного кабеля	А	135	135	135
ток замыкания на землю	А	200	150	150
ток заряда кабеля с замыканием на землю	А	115	87	87
Включающая способность	кА	62,5	52,5	52,5
Номинальный ток термической стойкости, 1 сек.	кА	25	-	-
Номинальный ток термической стойкости, 3 сек.	кА	21	21	21
Количество операций	1000 ВО (ручных)			
Заземлитель				
Номинальное напряжение	кВ	12	17,5	24
Испытательное напряжение промышленной частоты	кВ	28	38	50
Испытательное напряжение грозового импульса	кВ	95	95	125
Номинальный ток	А	630	630	630
Включающая способность:	кА	62,5	52,5	52,5
Номинальный ток термической стойкости, 1 сек.	кА	25	-	-
Номинальный ток термической стойкости, 3 сек.	кА	21	21	21
Количество операций	1000 ВО (ручных)			

Рисунок 5.2.1 – Технические характеристики (С – выключатель нагрузки)



Глубина: 765 мм
 Ширина: 325 мм
 Высота: 1336 мм

Технические параметры

Номинальное напряжение	кВ	12	17,5	24
Испытательное напряжение промышленной частоты	кВ	28	38	50
Испытательное напряжение грозового импульса	кВ	95	95	125
Номинальный ток	А	200/630	200/630	200/630
Отключающая способность:				
Номинальный ток отключения	кА	21	21	21
Включающая способность	кА	52,5	40	40
Номинальный ток термической стойкости, 3 сек.	кА	21	16	16
Количество операций	2000 ВО (ручных)			
Заземлитель				
Номинальное напряжение	кВ	12	17,5	24
Испытательное напряжение промышленной частоты	кВ	28	38	50
Испытательное напряжение грозового импульса	кВ	95	95	125
Включающая способность:				
Номинальный ток отключения	кА	52,5	40	40
Номинальный ток термической стойкости, 1 сек.	кА	21	16	16
Количество операций	1000 ВО (ручных)			

Рисунок 5.2.2 – Технические характеристики (V – вакуумный выключатель)

Однолинейная схема КРУЭ «SafeRing»:

Для выполнения секционного соединения необходима ячейка вакуумного выключателя V, трансформаторные присоединения также выполняются ячейками V. Так как нет комплектации модулей CVV, выбираем пару шкафов CСVV и СССV, технические характеристики приведены в таблице 5.2.1. Две ячейки С остаются резервными для дальнейшей возможности присоединения другой ТП.

Таблица 5.2.1 – Технические характеристики моноблоков СССV «SafeRing»

Рабочее напряжение сети, кВ	10
Ток сборных шин, А	630
Габариты модуля ГxШxВ, мм	765x1346x1336 мм
Выключатель нагрузки (функция С)	
Номинальный ток, А	630
Ток термической стойкости (кА, действ., 3 с)	21
Отключающая способность, А	630
Количество операций	1000 ВО (ручных)
Силовой вакуумный выключатель (функция V)	
Номинальный ток, А	200
Ток термической стойкости (кА, действ., 3 с)	16
Номинальный ток отключения, кА	21
Количество операций	2000 ВО (ручных)

Таблица 5.2.2 – Типовые ячейки моноблоков CCCV и CCVV «SafeRing»

Наименование присоединения	Число ячеек	№
Вводная ячейка	2	C
Отходящие присоединения	2	C
Секционный выключатель	1	C
	1	V
Отходящая линия к трансформатору	2	V

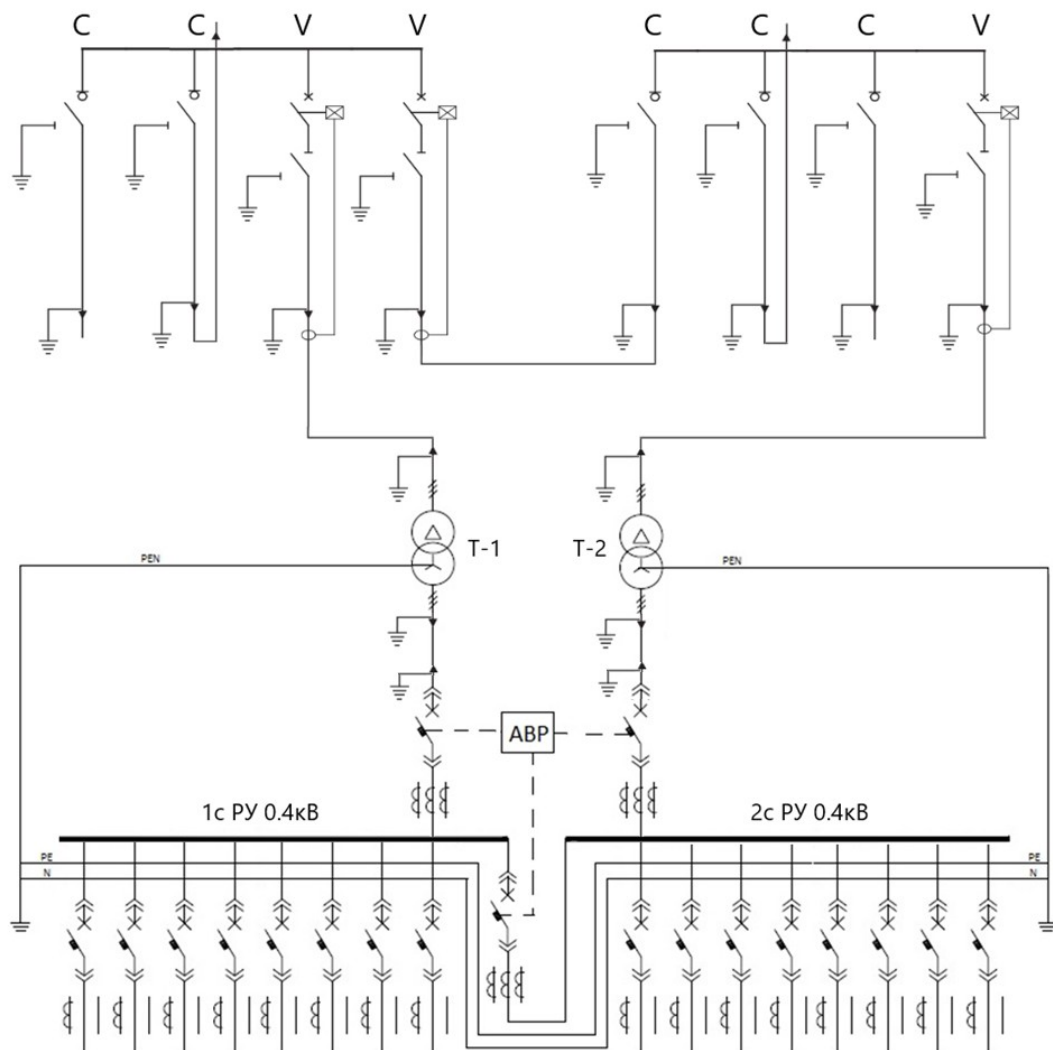


Рисунок 5.2.3 - Принципиальная однолинейная схема РУ ВН и НН ТП с моноблоками SafeRing

Для коммерческого учёта электроэнергии будем использовать устройства измерения напряжения I-TOR-10-U. Существует два варианта установки измерительных компонентов опорного типа на сборные шины секции (дополнительная ячейка) или установка на фазы присоединений на место штатных опорных изоляторов.

5.3. Сравнение оборудования КРУЭ «SafeRing» и КСО «ОнегаМ».

Сравнивая два варианта, можно выделить преимущества как КРУЭ «SafeRing», так и КСО «ОнегаМ»

Таблица 5.3.1 – Сравнение КРУЭ «SafeRing» и КСО «ОнегаМ»

Параметр сравнения	КРУЭ «SafeRing»	КСО «ОнегаМ»
Механический ресурс	1000	2000
Тип выключателя	Вакуумный	Вакуумный
Исполнение ячеек	Моноблок	Моноблок
$I_{ном}$ сборных шин	630	630
Срок службы	25 лет	25 лет
Габариты (ДхШхВ)	765 x 1346 x 1336	850 x 1625 x 1990

В сравнении можно сказать, что габариты оборудования, выполненные на базе ячеек КСО «ОнегаМ» больше по сравнению с габаритами оборудования, выполненными на базе КРУЭ SafeRing.

И в КСО «ОнегаМ», и в КРУЭ SafeRing нет ячейки для учета электроэнергии, в связи с чем для коммерческого учёта электроэнергии будут использоваться устройства измерения напряжения i-TOR и кольцевые трансформаторы тока. Это устройство предназначено для измерения и масштабного преобразования напряжения в сетях переменного тока промышленной частоты с номинальным напряжением 6, 10, 15, 20 или 24 кВ.

6. Расчет тока трехфазного КЗ на шинах 0,4 кВ

6.1. Выбор силовых трансформаторов 10/0,4 кВ

Выберем трансформатор для установки в КТПК. Исходя из установленной условием мощности 1000 кВА, выбираем трансформатор ТСГЛ-1000/10/0,4. Его характеристики приведены ниже в таблице 6.1.1:

Таблица 6.1.1 – Технические характеристики трансформатора ТСГЛ-1000/10

$S_{ном},$ кВА	$U_{вн},$ кВ	$U_{нн},$ кВ	$\Delta P_{xx},$ Вт	$\Delta P_{кз},$ Вт	$U_k,$ %	ДхШхВ, мм
1000	10	0,4	1900	8400	6	1720x1120x1700

Параметры трансформатора:

$$R_m = \frac{P_{кз} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,4 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{1000^2} = 0,87 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{u_k}{100} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} = \frac{6}{100} \frac{10^2 \cdot 10^3}{1000} = 6 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = \sqrt{6^2 - 0,84^2} = 5,936 \text{ Ом}$$

Выберем трансформатор для установки в БКТП. Исходя из установленной условием мощности 630 кВА, выбираем трансформатор от компании «Арктика» - Барнаульский завод трансформаторов ТМГ-630/10-0,4 Его характеристики приведены в таблице 6.1.2.

Таблица 6.1.2 – Технические характеристики трансформатора ТМГ-630/10-0,4

$S_{ном},$ кВА	$U_{вн},$ кВ	$U_{нн},$ кВ	$\Delta P_{xx},$ Вт	$\Delta P_{кз},$ Вт	$U_k,$ %	ДхШхВ, мм
630	10	0,4	1050	7600	5.5	1570x1045x1640

Параметры трансформатора:

$$R_m = \frac{P_{кз} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{7,6 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{630^2} = 1,915 \text{ Ом}$$

$$Z_m = \frac{u_k}{100} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5}{100} \frac{10^2 \cdot 10^3}{630} = 8,73 \text{ Ом}$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = \sqrt{8,73^2 - 1,915^2} = 8,518 \text{ Ом}$$

6.2. Выбор кабеля для связи силового трансформатора РУ 10/0,4 кВ

КЛ выбираются по условиям загрузки трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах. При этом в послеаварийном режиме трансформатор будет перегружен не более чем на 40% выше номинального значения (задано условием курсовой работы), а в нормальном режиме трансформатор загружен на 70%, так как их 2.

Кабель от РУ ВН к трансформатору ТСГЛ-1000/10/0,4:

$$I_{кн/л\alpha} = \frac{1,2 \cdot S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,2 \cdot 1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 69,3 \text{ А}$$

$$S = \frac{I_{кн/л\alpha}}{j_{эк}} = \frac{69,3}{1,7} = 40,76 \text{ м м}^2$$

Выбирается алюминиевый кабель АПвП сечением 50 мм², параметры используемого кабеля указаны в таблице 6.2.1.

Проверка по длительно допустимому току:

$$I_{кн/л\alpha} = 69,3 \text{ А} < I_{к\lambda доп} = 201 \text{ А}$$

Кабель от трансформатора к РУ НН ТСГЛ-1000/10/0,4:

$$I_{кн/л\alpha} = \frac{1,2 \cdot S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,2 \cdot 1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 1732 \text{ А}$$

$$S = \frac{I_{кн/л\alpha}}{j_{эк}} = \frac{1732}{1,7} = 1018 \text{ м м}^2$$

Выберем 2 алюминиевых кабеля АПвВнг сечением 300 мм², параметры используемого кабеля указаны в таблице 6.2.1.

$$I_{кн/л\alpha} = 1732 \text{ А} < I_{к\lambda доп} = 1000 \cdot 2 = 2000 \text{ А}$$

Таблица 6.2.1 – Параметры алюминиевых кабелей в КТПК

Место установки, наименование	Сечение жилы, мм ²	Сечение экрана, мм ²	r, Ом/км	x, Ом/км	L, м	R, Ом	X, Ом
Сторона ВН АПвП 1×50	1×50	16	0,127	0,64	10	0,0064	0,00127
Сторона НН 2АПвВнг 1×300	1×300	50	0,091	0,0778	10	0,000389	0,00045

Эквивалентное активное сопротивление:

$$R_{\Sigma} = R_{кВН} + R_m + R_{кНН} = 0,0064 + 0,84 + 0,000389 = 0,846 \text{ Ом}$$

Эквивалентное индуктивное сопротивление:

$$x_{\Sigma} = x_{кВН} + x_m + x_{кНН} = 0,00127 + 6 + 0,00045 = 6,00158 \text{ Ом}$$

$$Z_{экв} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2} + z_{экв} = \sqrt{0,846^2 + 6,00158^2} + 0,55 = 6,61 \text{ Ом}$$

Ток трехфазного КЗ на секции шин 0,4 кВ в КТПК

$$I_{кз} = \frac{U_{\text{ЭЭС}}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma}} \cdot \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 6,61} \cdot \frac{10}{0,4} = 21,9 \text{ кА}$$

Кабель от РУ ВН к трансформатору ТМГ-630/10-0,4:

$$I_{клин/а} = \frac{1,4 \cdot S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 50,92 \text{ A}$$

$$S = \frac{I_{кл}}{j_{эк}} = \frac{50,92}{1,7} = 29,95 \text{ мм}^2$$

Выбирается алюминиевый кабель АПВП сечением 50 мм², параметры используемого кабеля указаны в таблице 6.2.2.

Проверка по длительно допустимому току:

$$I_{клин/а} = 50,92 \text{ A} < I_{кдоп} = 201 \text{ A}$$

Кабель от трансформатора к РУ НН ТМГ-630/10-0,4:

$$I_{клин/а} = \frac{1,4 \cdot S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 1273 \text{ A}$$

$$S = \frac{I_{клин/а}}{j_{эк}} = \frac{1273}{1,7} = 749 \text{ мм}^2$$

Выберем 2 алюминиевых кабеля АПВВнг сечением 185 мм², параметры используемого кабеля указаны в таблице 6.2.1.

$$I_{клин/а} = 1273 \text{ A} < I_{кдоп} = 755 \cdot 2 = 1510 \text{ A}$$

Таблица 6.2.2 – Параметры алюминиевых кабелей в БКТП

Место установки, наименование	Сечение жилы, мм ²	Сечение экрана, мм ²	r, Ом/км	x, Ом/км	L, м	R, Ом	X, Ом
Сторона ВН АПВП 1×50	1×50	16	0,127	0,64	10	0,0064	0,00127
Сторона НН 2АПВВнг 1×185	1×185	25	0,099	0,164	10	0,00082	0,000495

$$R_3 = R_{кВН} + R_m + R_{кНН} = 0,0064 + 1,915 + 0,00082 = 1,921 \text{ Ом}$$

Эквивалентное индуктивное сопротивление:

$$x_3 = x_{кВН} + x_m + x_{кНН} = 0,00127 + 8,73 + 0,000495 = 8,731 \text{ Ом}$$

$$Z_{экв} = \sqrt{R_3^2 + x_3^2} + z_{экв} = \sqrt{1,921^2 + 8,731^2} + 0,55 = 9,49 \text{ Ом}$$

Ток трехфазного КЗ на секции шин 0,4 кВ

$$I_{кз} = \frac{U_{эЭС}}{\sqrt{3} \cdot z_3} \cdot \frac{U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 9,49} \cdot \frac{10}{0,4} = 15,2 \text{ кА}$$

7. Выбор оборудования БКТП/КТПК 0,4 кВ

Рассчитаем номинальный ток вводных автоматов в БКТП с учетом перегрузки масляного герметичного трансформатора ТМГ-630/10/0,4:

$$I_{кз}^{ВН} = \frac{1,4 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1273 \text{ A}$$

Вводной автомат выберем на ближайший номинальный ток 1600 А, а секционный – на 1000 А (на один номинал ниже), характеристики выбранных шкафов приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1. - Характеристики шкафов с трансформатором ТМГ-630

Наименование панели	Вводная НН	Секционная НН	Линейная НН
Тип шкафа	ШНВ-1	ШНС-1	ШНЛ-2
Номинальный ток, А	1600	1000	630
Габариты, ВхШхГ	2100х600х600	2100х600х600	2100х1000х600
Исполнение выключателя	Стационарное	Стационарное	Стационарное
Число панелей	2	2	4

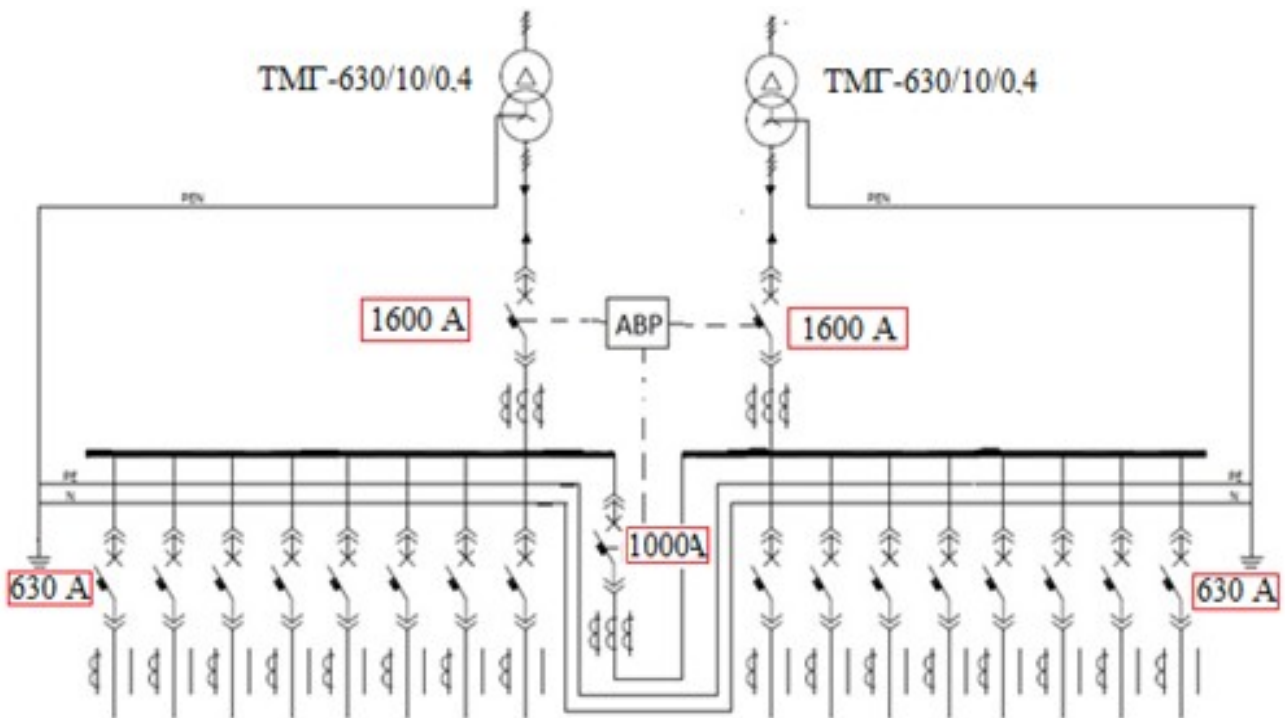


Рисунок 7.1 - Принципиальная схема РУ 0.4 кВ с ТМГ-630/10/0,4

Рассчитаем номинальный ток вводных автоматов в КТПР с учетом перегрузки сухого трансформатора ТСГЛ-1000/10/0,4:

$$I = \frac{1,4 \cdot S_{mp}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1732 \text{ A}$$

Ближайший больший номинальный ток: 2000 А. Принципиальная схема \на рисунке 7.2.

Таблица 7.2. - Характеристики шкафов с трансформатором ТСЛГ-1000

Наименование панели	Вводная НН	Секционная НН	Линейная НН
Тип шкафа	ШНВ-1	ШНС-1	ШНЛ-2
Номинальный ток, А	2000	1600	630
Габариты, ВхШхГ	2100х600х600	2100х600х600	2100х1000х600
Исполнение выключателя	Стационарное	Стационарное	Стационарное
Число панелей	2	2	4

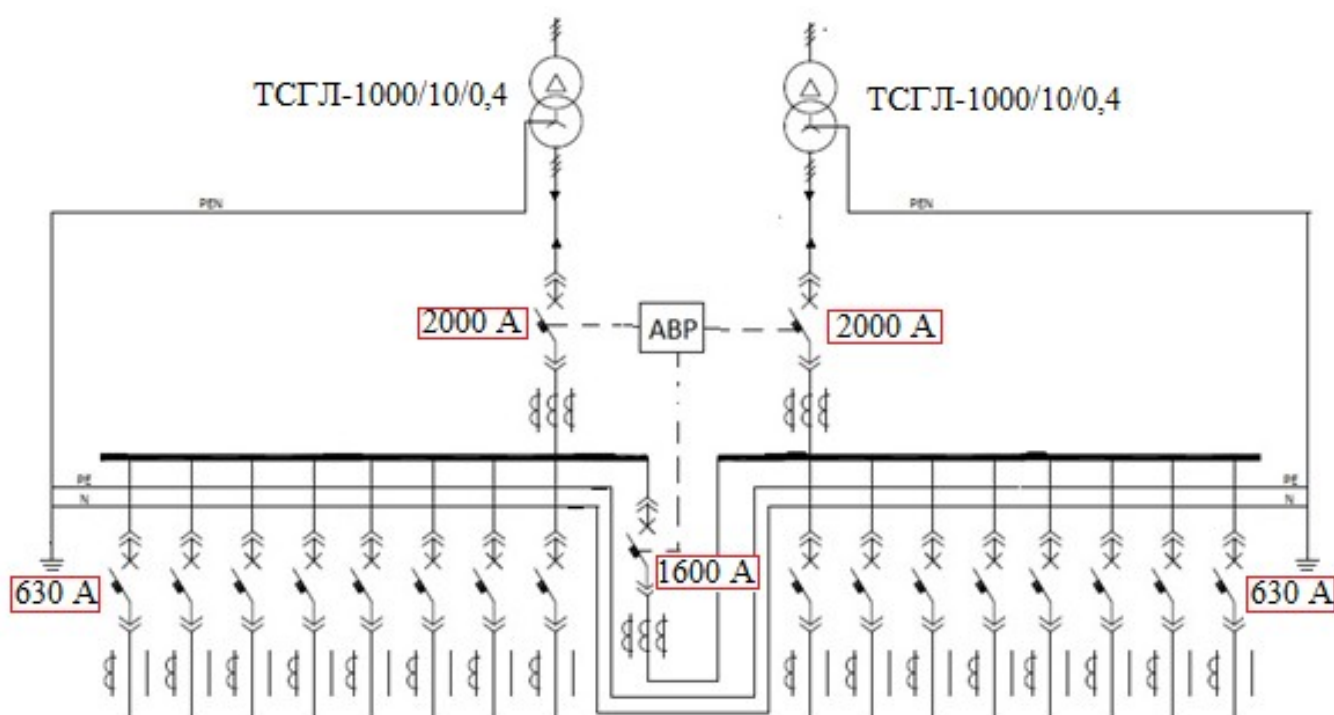


Рисунок 7.2 - Принципиальная схема РУ 0.4 кВ с ТСЛГ-1000/10/0,4

8. Компоновка оборудования КТП

В соответствии с ПУЭ глава 4.2 допускается размещение ЗРУ напряжением до 1 кВ и выше в общем помещении, если высшее напряжение КТП меньше 35 кВ. Необходимо обеспечить ширину коридора обслуживания 1,2м при двустороннем расположении оборудования.

Строительную часть БКТП (габариты ж/б модулей и модулей-поддонов) выберем на основе предложений заводов-производителей БКТБ. Выберем 2 БКТП ЭЗОИС с размерами ДхВхШ – 5400х2700х2700 мм.

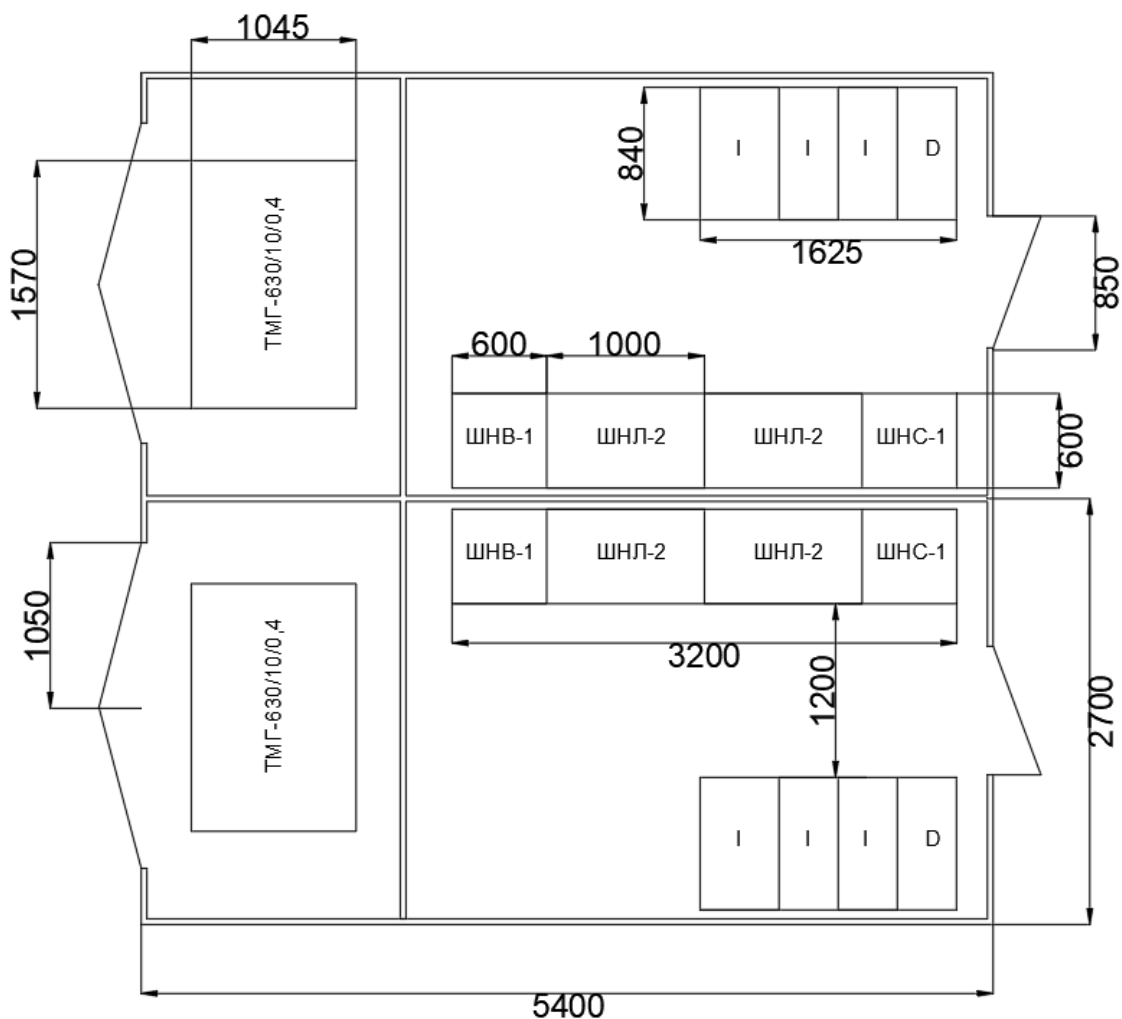


Рисунок 8.1 – Компоновка оборудования в БКТП 10/0,4 кВ с ТМГ-630/10/0,4 и КСО ОнегаМ

Строительную часть КТПК также выберем на основе предложений заводов-производителей КТПК, при этом габариты контейнера для двухтрансформаторной КТПК (ДхВхШ) выберем не более 12000х3200х3000мм. Выберем 1 КТПК с размерами ДхВхШ – 10640х2400х3000 мм.

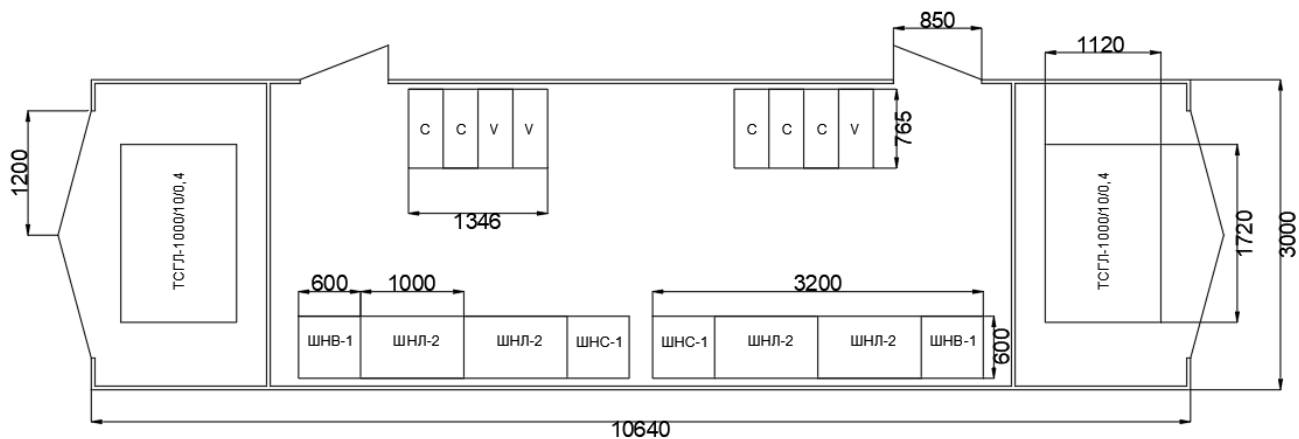


Рисунок 8.2 – Компоновка оборудования в КТПК 10/0,4 кВ с ТСГЛ-1000/10/0,4 и КРУЭ SafeRing

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной курсовой работе было полностью выполнено задание по проектированию КТП 10/0,4 кВ, который питается от РП. В начале работы были

предложены проекты по сооружению РП. Рассматривались два варианта: РП на базе КРУ «D-12PT » и РП на базе КСО «PremSet». Для каждого из вариантов в работе представлена однолинейная схема и компоновка оборудования. На основании полученных результатов было проведено сравнение двух проектов, были перечислены преимущества и недостатки каждого из вариантов.

Затем по исходным данным был произведён расчёт сечения кабеля по длительнодопустимому току. При работе одного трансформатора с учетом допустимой перегрузки масляного трансформатора передаваемая мощность составит $1,4 \cdot ST$, для сухого трансформатора $1,2 \cdot ST$.

После этого мы перешли к проектированию КТП 10/0,4 кВ. Для этого для начала был проведён расчёт токов КЗ на шинах 10 кВ. Как и ранее, здесь также рассматривались два варианта: РУ 10 кВ на базе КСО «ОнегаМ» и РУ 10 кВ на базе КРУЭ «SafeRing». Для каждого из вариантов в работе представлена однолинейная схема. На основании полученных результатов было проведено сравнение двух проектов, были перечислены преимущества и недостатки каждого из вариантов.

Далее было выбрано оборудование на 0,4 кВ и представлена однолинейная схема. Был проведён расчёт токов КЗ на шинах 0,4 кВ. После этого мы перешли уже непосредственно к компоновке оборудования. Вариант с SafeRing рассматривался совместно с КТПК, вариант с ОнегаМ – с БКТП.

\

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Серия «PremSet» Компактное модульное распределительное устройство с экранированной твердой изоляцией 6–10 кВ 2022 г.: [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: [https:// www.schneider-electric.com](https://www.schneider-electric.com) (дата обращения 28.04.2023).

2. Серия «D-12P» Комплексное распределительное устройство 6–10 кВ: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ess-ltd.ru/> (дата обращения 28.04.2023).

3. Серия «Онега-М» Комплектные распределительные устройства 6-10 кВ: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ess-ltd.ru/> (дата обращения 28.04.2023).

4. SafeRing и SafePlus. Компактные распределительные устройства с элегазовой изоляцией 10-20 кВ. ООО «АББМосэлектроцит». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.abb.ru> (дата обращения 01.05.2023).

5. Каталог. Трансформаторы сухие с литой изоляцией классов напряжения до 10 кВ. МЭТЗ [Электронный ресурс]. URL: [Завод по производству трансформаторов и электротехнического оборудования | МЭТЗ \(metzby.ru\)](http://www.metzby.ru) (дата обращения 01.05.2023).

6. Хромов С.В. Устройства для измерения напряжения в сетях среднего напряжения серии I-TOR. Альбом типовых решений. 2020 г. ООО «АЙ-ТОР»

7. Блочные комплектные трансформаторные и распределительные подстанции полной заводской готовности в монолитной железобетонной оболочке, в т.ч. устанавливаемые на свайные фундаменты и фундаментные плиты. Типы: БКТП, БРТП, БКРП, БРП. Подземные трансформаторные подстанции. Пример БКТП 35Кв. [Электронный ресурс]. URL: <https://WWW.EZOIS-ES.RU> (дата обращения 01.05.2023).

8. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ) / Главгосэнергонадзор России. М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.