

АННОТАЦИЯ

Темой выпускной бакалаврской работы является модернизация электрооборудования РУ 6 кВ понизительной подстанции 110/35/6 кВ «Ново-Чернитская» г. Белово».

В выпускной бакалаврской работе выполнен анализ электрооборудования понизительной подстанции, а также анализ существующей схемы распределительного устройства напряжением 6 кВ. Проведена оценка возможности подключения новых потребителей и рассмотрен вопрос возможности расширения распределительного устройства 6 кВ. Исходя из проведенного анализа электрооборудования и схемы распределительного устройства 6 кВ подстанции 110/35/6 кВ «Ново-Чернитская» предложены рекомендации по расширению распределительного устройства для обеспечения возможности подключения новых потребителей. Выполнен расчет токов короткого замыкания. По результатам расчета токов короткого замыкания выполнен выбор оборудования распределительного устройства. Представлен выбор микропроцессорных блоков релейной защиты распределительного устройства 6 кВ и рассчитаны уставки максимальной токовой защиты (МТЗ) с пуском по напряжению. Выполнен расчет освещения распределительного устройства и расчет системы заземления.

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы состоит из 55 листов, 13 таблиц, 21 рисунка. Графический материал ВКР выполнена 6 листах формата А1.

ABSTRACT

Bachelor's work theme is "Modernization of the 6 kV switchgear of "Novo-Chernitskaya" substation 110/35/6 kV".

In the first part of bachelor's work the description and analysis of «Novo-Chernitskaya" substation was made. The main goal of bachelor's work is to find the optimal equipment of 6 kV switchgear.

In the bachelor's work was made the analysis of existing switchgear scheme and short current calculation for switchgear 6 kV. Based on the results of short-circuit currents calculation, the choice of switchgear equipment was made. We made a choice of equipment between three variants of each equipment. The choice of microprocessor blocks of relay protection of 6 kV switchgear is presented and the settings of the overcurrent protection (MTZ) with voltage starting are calculated. The calculation of the lighting of the switchgear and the calculation of the grounding system have been completed.

The explanatory note of the final qualifying work consists of 55 sheets, 13 tables, 21 figures. The graphic material is presented on 6 sheets, made on format A1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Характеристика объекта модернизации.....	7
2 Определение электрических нагрузок распределительного устройства 6 кВ. 10	
3 Выбор схемы распределительного устройства	15
4 Расчет токов короткого замыкания распределительного устройства	166
5 Выбор оборудования распределительного устройства	20
6 Расчет собственных нужд распределительного пункта	39
7 Расчет освещения	40
8 Расчет заземления	44
9 Выбор микропроцессорной релейной защиты.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	53

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика является основополагающей отраслью народного хозяйства. Особенностью электроэнергетического производства является общность процессов производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Функционирование всех отраслей народного хозяйства страны зависит от состояния электроэнергетической отрасли. Кроме того, от состояния и развития электроэнергетики зависит и безопасность страны.

К основным объектам электроэнергетики относятся электрические станции на которых производят электрическую энергию, электрические подстанции на которых происходит преобразование и распределение электрической энергии, а также линии электропередачи (воздушные и кабельные) по которым происходит передача электрической энергии.

Начало становления электроэнергетической системы России берет начало с 20-х годов 20 века. В этот период были заложены основы современной Единой Национальной Электрической Сети (ЕНЭС).

В процессе создания и развития ЕНЭС выполнялось не только строительство новых объектов, но и модернизация существующих. Так как электроэнергетика связана со всеми отраслями народного хозяйства страны, то темпы ее развития должны опережать темпы развития остальных отраслей. Отставание в развитии может привести к нарушению нормального функционирования ЕНЭС.

Электрические подстанции – являются промежуточным звеном между электрическими станциями (объектами генерации) и потребителями.

Электрические подстанции характеризуются по уровню напряжения, местоположению в ЕНЭС и типам потребителей, подключенных к ним.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) потребители классифицируются по уровню надежности электроснабжения. Выделены три основных категории потребителей. К потребителям первой категории относятся потребители, для которых должно быть обеспечено бесперебойное

электрообеспечение, т.е. они должны получать питание от двух независимых источников. Перерыв в электрообеспечении таких потребителей может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения. Среди потребителей первой категории надежности электрообеспечения выделяются особо ответственные потребители «особой категории» - для которых перерыв в электрообеспечении недопустим. Ко второй категории надежности электрообеспечения относятся потребители, перерыв электрообеспечения которых может повлечь массовый недоотпуск продукции, массовый простой рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушение нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей. К третьей категории надежности электрообеспечения относятся потребители, попадающие под категории 1 и 2. Для потребителей третьей категории допускается обеспечивать питание от одного источника электрической энергии, при условии соблюдения периода перерыва электрообеспечения, не превышающего 24 часов.

По местоположению роли в ЕЭС подстанции подразделяются на тупиковые, ответвительные, узловые, проходные.

Исходя из того, какие потребители подключены к подстанции и какую роль, она играет в ЕЭС, выбирается тип силовых трансформаторов и электрическая схема подстанции.

При выборе электрической схемы необходимо учитывать перспективу развития питаемого района, возможность подключения новых потребителей и т.д.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта по модернизации электрооборудования распределительного устройства напряжением 6 кВ подстанции «Ново-Чернитская».

1 Характеристика объекта модернизации

Подстанция «Ново-Чернитская» напряжением 110/35/6 кВ расположена в городе Белово, Кемеровской области. Подстанция обеспечивает питание потребителей, расположенных в Беловской РЭС и находится на эксплуатации в ПАО "МРСК Сибири" - ОАО "Кузбассэнерго — региональные электрические сети".

Подстанция введена в эксплуатацию в 1956 году. На подстанции установлено два силовых трансформатора. Установленная мощность подстанции «Ново-Чернитская» составляет 72 МВА.

Подстанция «Ново-Чернитская» 110/35/6 кВ расположена в черте г. Белово и обеспечивает питание по напряжению 6 кВ, ближайших потребителей. Расположение подстанции представлено на рисунке 1.

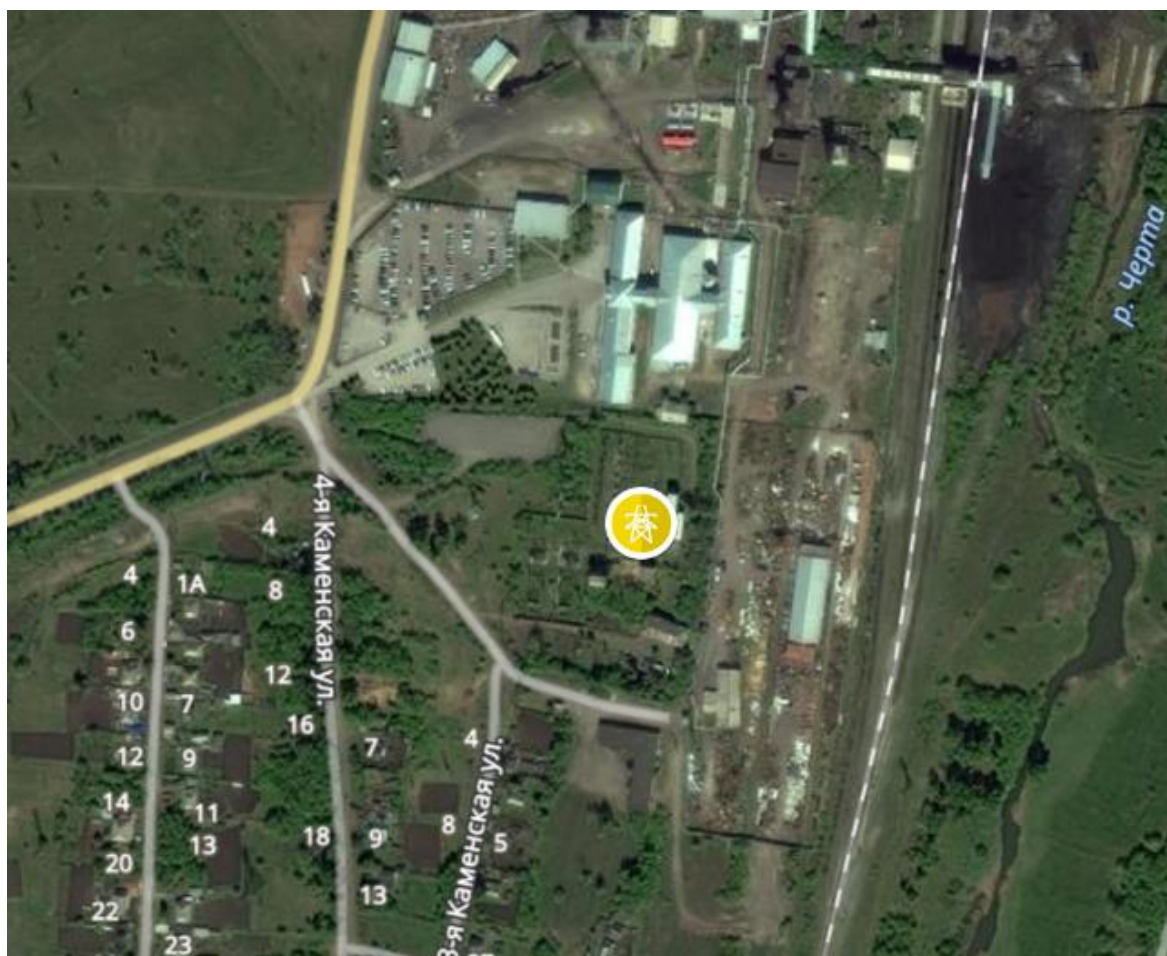


Рисунок 1 – Расположение подстанции «Ново-Чернитская» 110/35/6 кВ

В настоящее время на подстанции установлено оборудование, которое физически и морально устарело. На подстанции в эксплуатации находятся масляные выключатели на стороне 110, 35 и 6 кВ. В настоящее время на подстанции предлагается провести комплексную модернизацию, с заменой силовых трансформаторов, на трансформаторы мощностью 40 МВА. Так же планируется провести замену выключателей и разъединителей на стороне 110 кВ и на стороне 35 кВ, для повышения надежности электроснабжения шахт.

В бакалаврской работе будет рассмотрен вопрос модернизации распределительного устройства 6 кВ.

Распределительное устройство 6 кВ подстанции «Ново-Чернитская» выполнено в виде закрытого распределительного устройства. В здании ЗРУ расположено 25 ячеек, от которых, по кабельным линиям запитаны потребители.

Кроме того, на подстанции планируется внедрение АСУ ТП и АИИС КУЭ. Внедрение современных устройств учета электрической энергии и управления подстанцией позволит повысить надежность электроснабжения, однако для этого потребуется так же провести реконструкцию системы релейной защиты. На подстанции в настоящее время находится в эксплуатации устаревшая система релейной защиты, выполненная на электромеханических реле. Внедрение микропроцессорной релейной защиты позволит повысить надежность электроснабжения потребителей.

На стороне 6 кВ подстанции «Ново-Чернитская» распределительное устройство выполнено по схеме «одна рабочая система шин и секционным выключателем». Схема распределительного устройства представлена на рисунке 2.

На каждую секцию шин приходит питание, через вводные выключатели, от силовых трансформаторов (Т1 питает первую секцию шин, Т2 питает вторую секцию шин). Между секциями шин установлен секционный выключатель, который разомкнут в нормальном режиме работы. Если на одной из секций шин 6 кВ пропадает питание, то срабатывает система автоматического ввода

резерва (АВР) и секционный выключатель замыкается, а вводной выключатель секции шин, на которой пропало питание выключается. Таким образом питание всех потребителей на стороне 6 кВ обеспечивается от одного силового трансформатора.

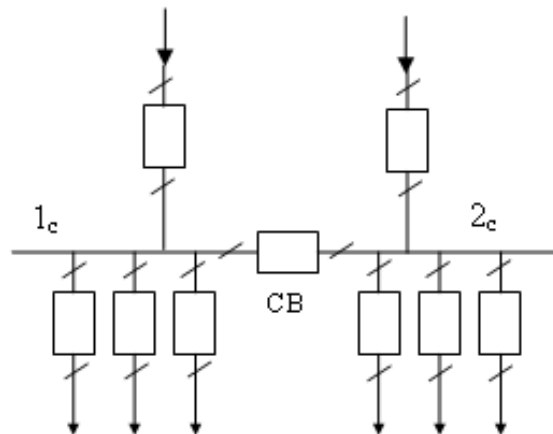


Рисунок 2 – Схема с одной рабочей системой шин и секционным выключателем

На подстанции, расположено ОПУ, отдельно от здания ЗРУ. При реконструкции ЗРУ 6 кВ, здание в котором расположено ЗРУ сохраняется.

Выбор оборудования ЗРУ 6 кВ, необходимо провести исходя из сравнительного анализа нескольких вариантов. При этом предпочтение отдавать российским производителям оборудования. Ячейки распределительного устройства должны быть заводского изготовления, и поставляться на объект готовыми к проведению монтажа и наладке, для уменьшения времени монтажа.

2 Определение электрических нагрузок распределительного устройства 6 кВ

При выполнении проекта реконструкции распределительных устройств подстанций на первом этапе необходимо провести расчет электрических нагрузок. Определение расчетных нагрузок по фидерам и по секциям шин в целом позволит выполнить выбор коммутационного электрооборудования, а также подобрать необходимые измерительные трансформаторы тока и напряжения, сечение и марку шинопроводов и выполнить отстройку релейной защиты и автоматики подстанции. Для удобства определения максимальных нагрузок можно выполнить расчет суточного графика нагрузок за день максимального потребления по подстанции. График электрических нагрузок представляет собой зависимость мощности (активной, реактивной или полной) от времени (для суточных графиков детализация по времени может быть выполнена с точностью до часа). Графики электрических нагрузок строятся по данным измерительных приборов с усреднением по часу. Для распределительного устройства 6 кВ подстанции «Ново-Чернитская» в таблице 1 представлены значения активной мощности для зимнего замерного дня.

Таблица 1 –Показатели активной мощности по фидерам 6 кВ

Время t , ч	P , кВт											$P_{\text{сум}}$, кВт
	Фидер 11	Фидер12	Фидер13	Фидер14	Фидер15	Фидер16	Фидер17	Фидер18	Фидер 19	Фидер 20	Фидер 21	
1	200	200	-	200	200	100	100	100	200	200	100	1600
2	200	200	-	200	200	100	200	100	200	200	100	1700
3	200	300	-	300	200	200	200	100	300	300	200	2300
4	300	300	-	300	300	200	200	100	300	300	200	2500
5	300	400	-	300	300	300	300	200	300	200	300	2900
6	400	400	40	300	400	300	300	200	300	300	300	3240
7	400	500	40	400	400	400	400	200	400	400	300	3840
8	500	500	40	500	400	400	300	300	500	400	300	4140

Продолжение таблицы 1												
9	500	500	30	600	500	300	300	300	600	300	400	4330
10	400	400	40	600	500	300	400	300	600	300	400	4240
11	400	300	40	500	400	300	400	200	500	400	300	3740
12	200	300	30	400	400	200	300	200	400	300	400	3130
13	200	400	30	400	300	200	300	300	400	500	400	3430
14	300	400	20	500	300	400	300	300	500	400	400	3820
15	300	400	20	500	400	300	200	200	500	400	300	3520
16	400	400	20	500	400	300	200	200	500	400	300	3620
17	400	300	20	400	300	300	300	200	400	300	300	3220
18	300	300	30	300	300	200	300	100	300	300	200	2630
19	300	200	30	300	300	200	200	100	300	300	200	2430
20	200	200	40	300	300	300	200	200	300	200	200	2440
21	200	200	30	200	200	200	200	200	200	200	300	2130
22	200	100	30	200	200	200	200	200	200	200	200	1930
23	100	100	20	200	200	100	100	100	200	200	100	1420
24	100	100	20	200	200	100	100	100	200	200	100	1420

В таблице 2 представлены значения реактивной мощности (Q) на РУ 6 кВ.

Таблица 2 –Значения реактивной мощности по фидерам 6 кВ

Время t, ч	Q, кВар											Q _{сум} , кВар
	Фидер-11	Фидер-12	Фидер-13	Фидер-14	Фидер-15	Фидер-16	Фидер-17	Фидер-18	Фидер-19	Фидер-20	Фидер-21	
1	-	-	-	100	100	-	-	-	100	100	-	400
2	-	-	-	200	100	-	-	-	200	100	-	600
3	-	100	-	200	100	-	100	-	200	100	-	800
4	100	100	-	100	100	100	100	-	100	100	-	800
5	100	200	-	100	100	100	200	100	100	100	100	1200
6	100	200	-	200	200	200	200	100	200	200	100	1700
7	200	200	-	200	200	200	200	100	200	200	100	1800
8	200	300	50	300	300	300	300	200	300	300	200	2750
9	300	300	50	400	300	200	200	200	400	300	200	2850
10	200	200	-	400	200	300	300	300	400	300	300	2900
11	200	200	-	300	200	300	200	200	300	300	300	2500
12	200	100	-	200	300	200	200	100	200	300	200	2000

Продолжение таблицы 2												
13	300	100	50	200	300	200	300	100	200	300	200	2250
14	200	200	50	300	300	200	200	200	300	300	200	2450
15	200	200	50	400	200	300	200	200	400	200	200	2550
16	100	200	-	300	200	300	300	300	300	200	300	2500
17	100	200	-	300	200	200	300	200	300	200	200	2200
18	100	100	50	200	300	200	200	200	200	300	200	2050
19	100	100	50	200	300	100	200	200	200	300	200	1950
20	100	100	50	200	200	300	300	200	200	200	100	1950
21	100	200	-	200	200	200	200	100	200	200	100	1700
22	100	200	-	200	100	200	100	100	200	100	100	1400
23	-	100	-	100	100	100	100	-	100	100	-	700
24	-	100	-	100	100	-	-	-	100	100	-	500

В таблице 3 представлены максимальные значения тока по фидерам РУ 6 кВ.

Таблица 3 – Максимальные значения тока по фидерам РУ

Фидер-11 ТП-235	157 А
Фидер-12 ТП-316	174 А
Фидер -13 ТП-287	70 А
Фидер -14 ТП-280	220 А
Фидер 15 ТП-303	180 А
Фидер -16 ТП-310	140 А
Фидер -17 ТП-273	164 А
Фидер -18 ТП-360	100 А
Фидер -19 ТП-280	220 А
Фидер -20 ТП-354	187 А
Фидер -21 ТП-355	123 А

По данным таблицы 1 и 2 построены графики суммарной нагрузки. Суточные графики суммарной нагрузки представлены на рисунках 1 и 2.

По суточным графикам (рисунок 1 и 2) определим суммарное значение нагрузки – 4330 кВт. Пик в суточном графике приходится на 9 часов. суммарной нагрузки составляет 4330 кВт, что приходится на 9 часов. Реактивная мощность на тот же период составляет 2850 квар.

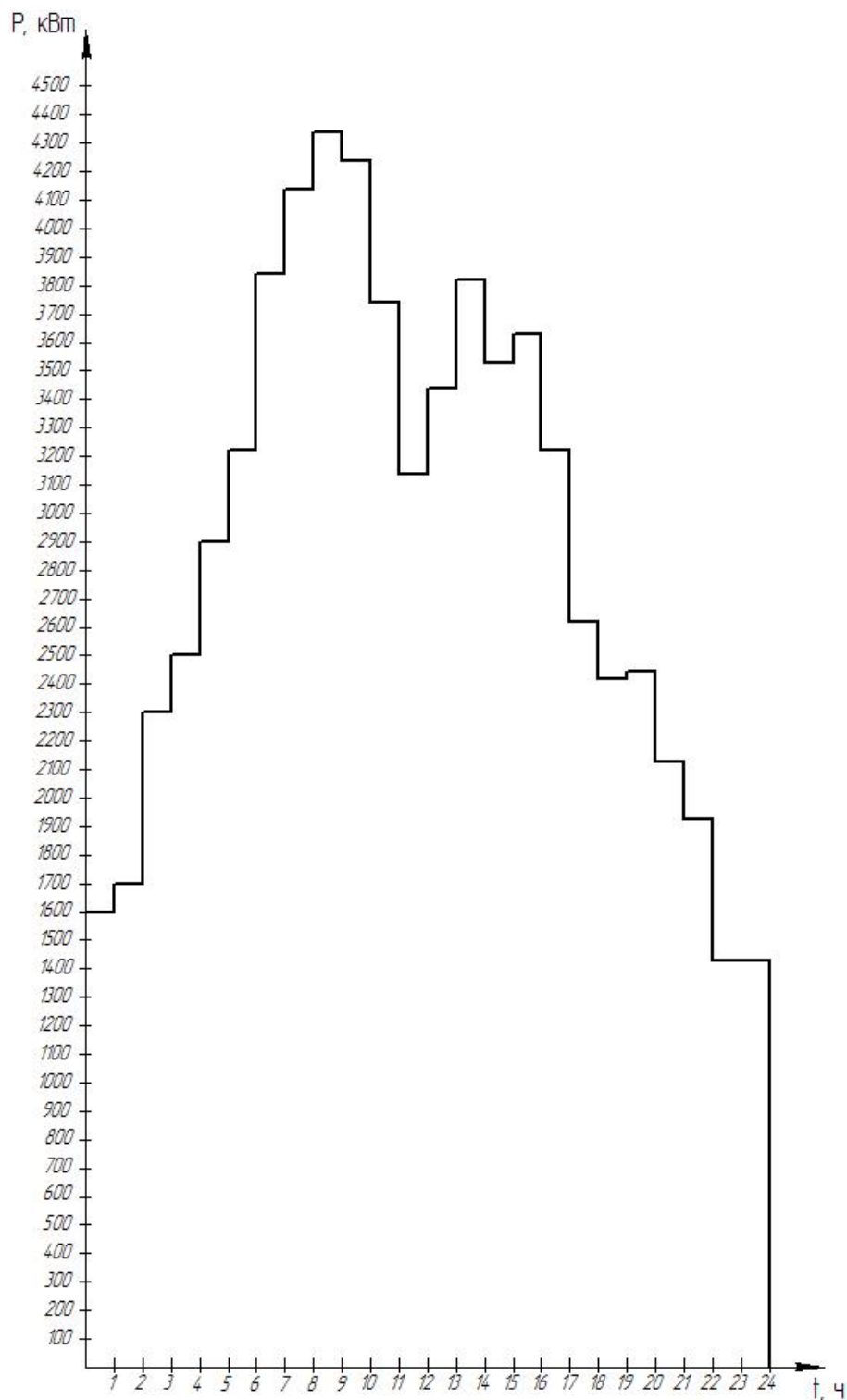


Рисунок 3 – Суточный график активной мощности

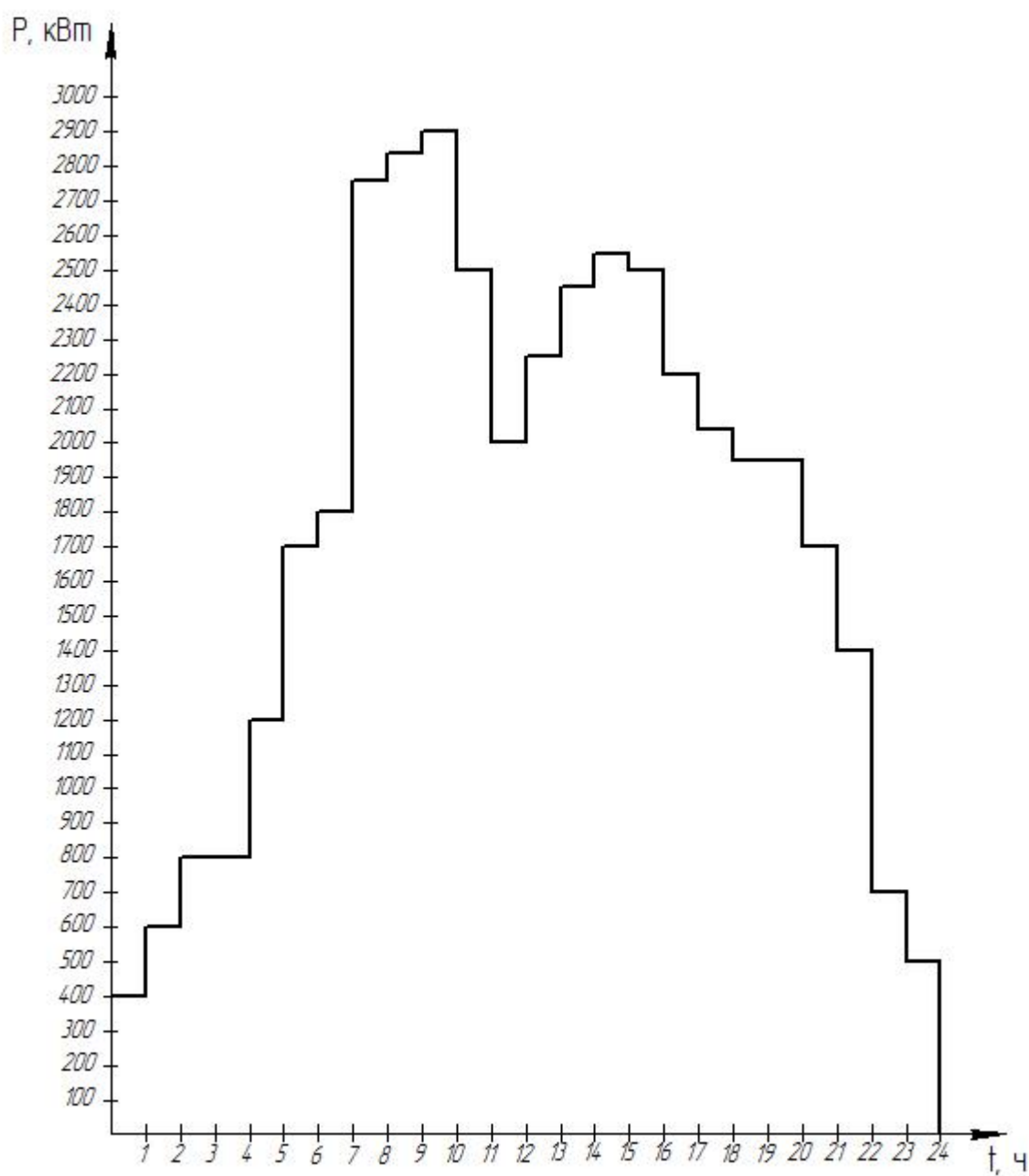


Рисунок 4 – Суточный график реактивной мощности

3 Выбор схемы распределительного устройства

Распределительное устройство выполнено по схеме «одна рабочая система шин и секционным выключателем». Схема распределительного устройства представлена на рисунке 5.

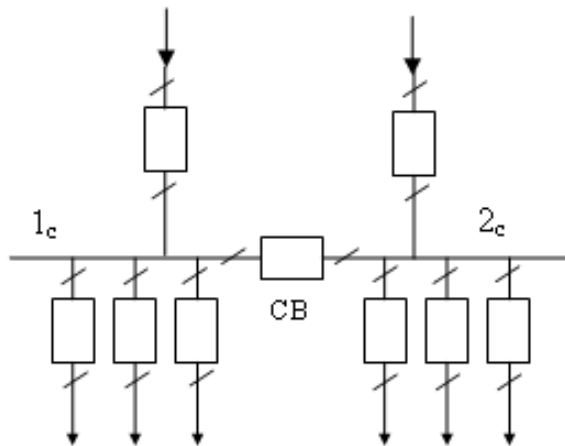


Рисунок 5 – Схема распределительного устройства

Схема «одна рабочая система шин с секционным выключателем» на распределительных устройствах подстанций напряжением 6-35 кВ. Секции шин запитаны через фидеры № 19 и 12 от силовых трансформаторов Т1 и Т2 соответственно. Потребители распределительного устройства запитаны по кабельным линиям через высоковольтные выключатели и шинные разъединители. Секционирование шин выполнено секционным выключателем. В нормальном режиме работы секционный выключатель находится в отключенном состоянии. На секционном выключателе предусмотрен автоматический ввод резерва (АВР). Срабатывание АВР происходит при потере питания на секциях сборных шин. Если на секциях сборных шин происходит короткое замыкание, то секция шин отключается от источника питания по средствам срабатывания вводного выключателя.

4 Расчет токов короткого замыкания распределительного устройства

«Короткое замыканием (КЗ) - нарушение нормального режима работы электроустановки, при замыкании фаз между собой». Токи короткого замыкания (ТКЗ) представляют большую опасность для оборудования электрической сети. При протекании ТКЗ происходит увеличение тока и снижение напряжения, это вызывает повышенный нагрев токоведущих частей оборудования и может вызвать его повреждение.

Для сетей напряжением 6-10 кВ расчетным видом короткого замыкания является трехфазное короткое замыкание, так как для сетей этого класса напряжения величина трехфазного КЗ будет наибольшей. Поэтому при выполнении проектов реконструкции и замене оборудования необходимо выполнять проверку всего оборудования на стойкость и возможность отключения именно трехфазного ТКЗ. Поэтому в работе необходимо провести расчет трехфазного ТКЗ.

Расчеты выполняются в относительных единицах, приведенных к базисным.

Первым этапом расчета ТКЗ является составление расчётной схемы и схемы замещения. Для распределительного устройства расчетная схема показана на рисунке 6, а схема замещения, соответствующая расчетной схеме показана на рисунке 7.

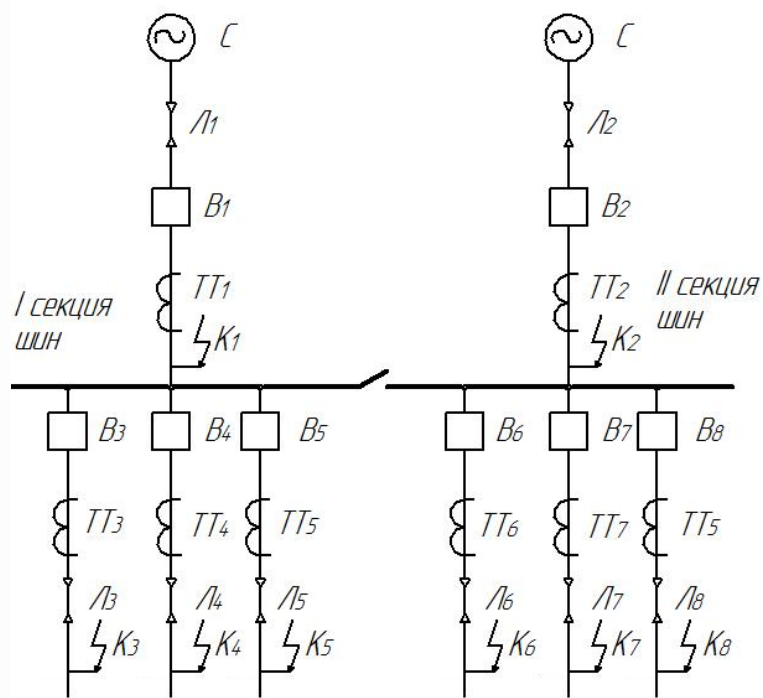


Рисунок 6 – Схема для расчета ТКЗ

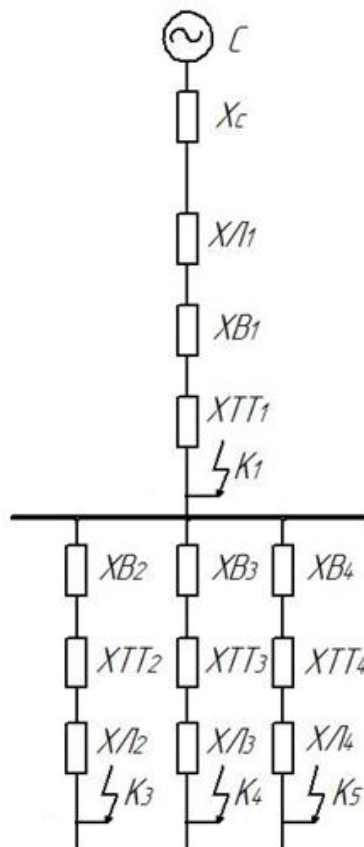


Рисунок 7 – Схема замещения

Расчет ТКЗ начнем с определения сопротивлений схемы замещения, для этого зададимся величиной базисной мощности, которую можно принять равную $S_{\bar{\sigma}} = 1000 \text{ МВА}$, тогда сопротивление системы:

$$X_{\bar{\sigma},c} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\kappa}}, \quad (8)$$

$$X_{\bar{\sigma},c} = \frac{1000}{232} = 4,31.$$

Сопротивление линии:

$$X_{\bar{\sigma},л} = X_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{U_{\bar{\sigma}}}{U_{cp}^2}. \quad (9)$$

где $X_{y\partial} = 0,4 \text{ Ом / км}$,

$L = 0,95 \text{ км}$ – длина линии.

$$X_{\bar{\sigma},л} = 0,4 \cdot 0,95 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 9,574.$$

Расчет трехфазных ТКЗ:

Определение уровня ТКЗ в расчетной точке К1:

Определим величину результирующего сопротивления до расчетной точки:

$$X_{рез} = X_{\bar{\sigma},c} + X_{\bar{\sigma},л}, \quad (10)$$

$$X_{рез} = 4,310 + 9,574 = 13,884.$$

Определим базисный ток:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}, \quad (11)$$

$$I_{\sigma} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,643 \text{ кА}.$$

Определим действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ в начальный момент времени:

$$I_{n,0}^3 = \frac{E_{\sigma}''}{X_{рез.(б)}} \cdot I_{\sigma}, \quad (12)$$

$$I_{n,0}^3 = \frac{1}{13,884} \cdot 91,643 = 6,6 \text{ кА}.$$

Определим величину ударного трехфазного ТКЗ, примем значение ударного коэффициента $K_{y\sigma} = 1,72$:

$$I_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0}^3 \cdot K_{y\sigma}, \quad (13)$$

$$I_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot 6,6 \cdot 1,72 = 16,054 \text{ кА}.$$

Определение уровня ТКЗ в расчетных точках К3, К4, К5:

Индуктивные сопротивления высоковольтных выключателей и измерительных ТТ имеют низкие значения, поэтому индуктивные сопротивления этих элементов в расчетах ТКЗ учитывать не будем. Поэтому значения результирующих сопротивлений в расчетных точках К2, К3, К4 равны значению результирующего сопротивления для расчетной точки К1. Величина базисного и ударного токов, а также значение трёхфазного ТКЗ примем такими же как и в расчетной точке К1.

5 Выбор оборудования распределительного устройства

Распределительное устройство напряжением 6 кВ было построено вместе с подстанцией в 1956 году. За время эксплуатации производились ремонты и обслуживание высоковольтного оборудования распределительного устройства. При этом часть выключателей были заменены. При реконструкции и выборе оборудования мы не учитываем возраст и состояние оборудования РП и выполняем комплексную замену оборудования РУ 6 кВ.

5.1 Выбор типа комплектных ячеек

Выбор ячеек КРУ выполняется по следующим условиям:

«Номинальному напряжению» [13]:

$$\begin{aligned} U_{ном} &\geq U_{сет.ном}, \\ 10 \text{ кВ} &\geq 6 \text{ кВ}. \end{aligned} \quad (14)$$

«Номинальному току» [13]:

$$I_{ном.дл} \leq I_{ном}. \quad (15)$$

«По току с учетом перегрузки» [13]:

$$\begin{aligned} I_{p.max} &= I_p \cdot 1,4, \\ I_{p.max} &= 220 \cdot 1,4 = 308 \text{ А}, \\ 308 \text{ А} &\leq 630 \text{ А}. \end{aligned} \quad (16)$$

Выбор будем производить из нескольких вариантов предлагаемых разными заводами производителями.

Первый производитель ЗАО «Группа компаний Электроцит – ТМ Самара». По каталогам производителя выбираем камеры КСО-СЭЩ-298М.

«Характеристики КСО-СЭЩ-298М:

- Номинальное напряжение 6/10 кВ.
- Номинальная частота - 50 Гц.
- Номинальный ток главных цепей камер КСО – 630 А.
- Номинальный ток сборных шин – 630 А.
- Номинальный ток отключения – 20 кА.
- Ток термической стойкости – 20 кА.
- Время протекания тока термической стойкости – 1 с.
- Габаритные размеры: глубина – 1365 мм, ширина – 750 мм, высота – 2650 мм.» [6].

Для установки в камеру могут использоваться следующие марки оборудования: выключатели ВВУ-СЭЩ, ВВМ-СЭЩ, трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10, ТПЛ-СЭЩ-10, трансформаторы напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-10, НАЛИ-СЭЩ-10, предохранители типа ПКТ, ПКН.

Второй производитель международный электротехнический холдинг «Таврида электрик». По каталогу производителя выберем камеры типа КСО-207 «Новация».

«Характеристики КСО-207 «Новация»:

- Габаритные размеры: глубина – 1045 мм, ширина – 650 мм, высота – 2100 мм.
- Номинальный ток отключения – 20 кА.
- Номинальный ток термической стойкости (3с) – 20 кА.
- Климатическое исполнение – У3» [23].

Для установки в камеру могут использоваться следующие марки оборудования: выключатели ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48, ВВ/TEL-10-20/1600-У2-117, трансформаторы тока ТПОЛ-10, ТЛП-10; трансформаторы напряжения, ЗНОЛПМ-6 (10), НАМИТ-10; ТСН - ТС-40; ТСКС-40; ТЛС-40; ОЛСП-1,25; ОЛСП-4.».

Третий производитель Чебоксарский Электроаппаратный завод. По каталогам производителя выберем камеры типа КСО 202В.

«Характеристики КСО 207В;

- Номинальное напряжение 6/10 кВ.
- Номинальный ток главных цепей – 630 А.
- Номинальный ток отключения – 12,5/20 кА.
- Ток термической стойкости – 20 кА.
- Время протекания тока термической стойкости – 3 с.
- Габаритные размеры: Глубина – 1100 мм, ширина – 750 мм, высота – 2500 мм»[24].

Для установки на распределительном устройстве 6 кВ примем камеры типа КСО-СЭЩ-298М - «Группа компаний Электрощит – ТМ Самара».

5.2 Выбор выключателей

На распределительном устройстве до проведения реконструкции были установлены масляные выключатели марки ВМГ-10. Данный вид выключателей снят с производства. Они обладают рядом недостатков, одним из которых является наличие масла, что делает использования таких выключателей более опасным. Для замены высоковольтных выключателей будем рассматривать вакуумные выключатели.

Согласно нормативным требованиям выбор высоковольтных выключателей проводится по следующим параметрам:

- Номинальному напряжению
- Номинальному току
- На отключение апериодической составляющей тока КЗ.
- На электродинамическую и термическую стойкость

Для выбора выключателя сравним несколько вариантов высоковольтных выключателей по представленным параметрам.

Первый вариант установки высоковольтного выключателя - качестве выключатель, производства «Группа компаний Электроцит – ТМ Самара», ВВУ-СЭЩ-10. Высоковольтный выключатель ВВУ-СЭЩ-10 используется в сетях с частыми коммутациями и может быть установлен в выбранные нами ячейки КСО.

Выполним расчет термической стойкости со временем отключения ТКЗ равной $t_{откл} = 0,2, с$:

$$B_{\kappa} = I_{n,0}^3 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (17)$$

$$B_{\kappa} = 6,6^2 \cdot (0,3 + 0,03) = 14,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Для сравнения полученного значения определим термическую стойкость с длительностью ТКЗ для данного выключателя:

$$B_{\kappa} = I_T^2 \cdot t_{откл}, \quad (18)$$

$$B_{\kappa} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Получено, что $t_{откл} < t_T$, следовательно по данному параметру выключатель проходит.

Далее выполним проверку выключателя на электродинамическую стойкость:

$$I_{n,0} \leq I_{нрс}, \quad (19)$$

$$6,6 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{уд} \leq i_{нрс}, \quad (20)$$

$$16,054 \text{ кА} \leq 50 \text{ кА}.$$

Проверка на отключение апериодической составляющей ТКЗ:

$$i_{ном} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{нор} / 100) \cdot I_{ном.откл}, \quad (21)$$

$$i_{ном} = \sqrt{2} \cdot 0,3 \cdot 20 = 8,48 \text{ кА},$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0} \cdot e^{\tau/T_a}, \quad (22)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 6,6 \cdot 0,14 = 1,3 \text{ кА}.$$

Второй вариант высоковольтного выключателя примем - ВБЭ-10-20, производства «Контакт» г. Саратов.

Третий вариант высоковольтного выключателя примем ВВ/TEL производства «Таврида электрик».

Выполнив расчеты по методике, сведем все полученные значения в таблицу 7.

Таблица 7 – Сравнение выключателей

	Расчетные данные			Каталожные данные		
	ВВУ- СЭЩ- 10	ВБЭ-10	ВВ/TEL -10	ВВУ- СЭЩ- 10	ВБЭ-10	ВВ/TEL- 10
$U_{ном}$	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
$I_{ном}$	308 А	308 А	308 А	1000 А	1000 А	1000А
Отключающая способность	1,3 кА	1,68 кА	3,36 кА	8,48 кА	11,31 кА	5,65 кА
$i_{нрс}$	6,6 кА	6,6 кА	6,6 кА	20 кА	20 кА	20 кА
	16,054 кА	16,054 кА	16,054 кА	50 кА	51 кА	52 кА
B_k	14,37 кА ² ·с	18,73 кА ² ·с	10,45 кА ² ·с	120 кА ² ·с	160 кА ² ·с	80 кА ² ·с

По данной таблице все представленные выключатели прошли проверку по всем параметрам, и для установки в РП выбираем выключатель марки ВВУ-

СЭЩ-10, производства «Группа компаний Электрощит – ТМ Самара», на котором выбрано ранее ячейки КСО.

5.3 Выбор трансформатора тока

Измерительные трансформаторы тока предназначены для преобразования тока до удобных для измерения значений. Используются в цепях релейной защиты и автоматики, а также в цепях измерения и учета.

Выбор измерительного трансформатора тока выполняется по следующим параметрам: номинальному рабочему току; номинальному напряжению; электродинамической и термической стойкости; конструкции и классу точности; вторичной нагрузке.

Выбор измерительных трансформаторов тока выполним из трех вариантов.

Первый вариант – измерительный трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10, производства «Электрощит Самара».

Выполним проверку по номинально рабочему току:

$$I_{p.\max} \leq I_{\text{ном}}, \quad (23)$$
$$308 \text{ A} \leq 400 \text{ A}.$$

Выполним проверку по номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сет.ном}}, \quad (24)$$
$$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}.$$

Выполним проверку на электродинамическую стойкость:

$$i_{yd} \leq \kappa_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}}, \quad (25)$$

$$\kappa_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} = 100 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,4 = 56,57 \text{ А},$$

$$16,054 \text{ А} \leq 56,57 \text{ А}.$$

Выполним проверку на термическую стойкость:

$$B_{\kappa} = \kappa_T^2 \cdot I_{\text{ном}}^2 \cdot t_T = I_T^2 \cdot t_T, \quad (26)$$

$$\kappa_T^2 \cdot I_{\text{ном}}^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 0,4^2 \cdot 1 = 256 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$14,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 256 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Составим таблицу 8, куда занесем все каталожные данные сравниваемых измерительных трансформаторов тока, а также расчетные значения.

Второй вариант для установки рассмотрим трансформатора тока ТПОЛ-10, «Свердловского завода трансформаторов тока» (СЗТТ) в г. Екатеринбург.

Третий вариант – измерительный трансформатор тока ТОЛ-К-10 производства «КЭРС», г. Москва.

Таблица 8 – Сравнение измерительных трансформаторов тока

	Расчетные данные			Каталожные данные		
	ТОЛ-СЭЩ-10	ТПОЛ-10	ТОЛ-К-10	ТОЛ-СЭЩ-10	ТПОЛ-10	ТОЛ-К-10
$U_{\text{ном}}$	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{ном}}$	308 А	308 А	308 А	400 А	400 А	400А
$i_{\text{нрс}}$	16,054 А	16,054 А	16,054 А	56,57 А	64,48 А	56,57 А
B_{κ}	14,37 кА ² ·с	14,37 кА ² ·с	14,37 кА ² ·с	256 кА ² ·с	972 кА ² ·с	256 кА ² ·с

Анализ результатов таблицы 8 показал, что все выбранные трансформаторы прошли проверку. Измерительные трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10 и ТОЛ-К-10 имеют схожие характеристики, хотя произведены на разных заводах производителях. Применены по установке на отходящие линии с распределительного устройства измерительные трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10 400/5. В вводные ячейки прием к установке измерительный трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10 800/5. Так как она произведены на том же заводе, что и выбранное прежде оборудование.

В распределительном устройстве функции измерения предлагается реализовать с использованием цифрового измерительного прибора марки АВВ М2МLV.

Данный прибор выполняет измерения действующих значений тока и напряжения, частоты, напряжения и тока в трехфазных системах, коэффициента мощности, а также полную, активную и реактивную мощности.

Для проверки возможности подключения данного прибора в измерительную сеть распределительного пункта необходимо определить его сопротивление:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (27)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{7}{5^2} = 0,28 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}}, \quad (28)$$

$$R_{\text{пр}} = 1,2 - 0,28 - 0,1 = 0,82 \text{ Ом}.$$

Для подключения прибора в измерительную сеть необходимо провести выбор сечения и типа провода для его подключения. Сечение провода определим из выражения, представленного ниже приняв длину провода равную 40 метрам:

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{np}}, \quad (29)$$

$$s = \frac{0,0175 \cdot 40}{0,82} = 0,583 \text{ мм}^2.$$

Исходя из результата, выберем стандартное сечение провода 1,5 мм².

5.4 Выбор трансформатора напряжения

Трансформатор напряжения (ТН) применяется в системах электроснабжения для преобразования напряжения до значений удобных для проведения измерений. Он используется в цепях релейной защиты, сигнализации, а также для питания цепей РЗА.

Выбор ТН проводится по следующим параметрам:

Номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{сет.ном}, \quad (30)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}.$$

Вторичной нагрузке, т.к. на распределительном устройстве установлен прибор марки АВВ М2MLV, при этом вторичная нагрузка минимальна, то оценку вторичной нагрузки для ТН проводить не целесообразно.

Для установки в распределительном устройстве принимаем ТН марки ЗНОЛ-СЭЩ-10, так как производитель данного трансформатора тот же что и камер КСО, которые были выбраны для установки.

5.5 Выбор разъединителя

Разъединитель предназначен для проведения коммутаций отключенных участков сети. При этом создается видимый разрыв сети, что безопасно для проведения работ.

Выбор разъединителя проводится по следующим параметрам:

Номинальному напряжению:

$$\begin{aligned} U_{ном} &\geq U_{сет.ном}, \\ 10 \text{ кВ} &\geq 6 \text{ кВ}. \end{aligned} \quad (31)$$

Номинальному току:

$$\begin{aligned} I_{p, \max} &\leq I_{ном}, \\ 308 \text{ А} &\leq 630 \text{ А}. \end{aligned} \quad (31)$$

Электродинамической стойкости:

$$\begin{aligned} I_{n,0} &\leq I_{нрс}, \\ 6,6 \text{ кА} &\leq 20 \text{ кА}, \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} i_{y\partial} &\leq i_{нрс}, \\ 16,054 \text{ кА} &\leq 51 \text{ кА}. \end{aligned} \quad (33)$$

Термической стойкости:

$$\begin{aligned} B_{\kappa} &\leq I_T^2 \cdot t_T, \\ 14,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} &\leq 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned} \quad (34)$$

Так же при выборе разъединителя необходимо учесть вид установки и его конструкцию.

Значения для выбора разъединителя аналогичны расчетам, проведенным для выбора выключателя в пункте 4.2 ВКР. К установке в распределительном устройстве принимаем разъединитель типа РВ-СЭЩ-10. Данный разъединитель так же производится на заводе Самарский - Электрощит. Выбранный разъединитель предназначен для внутренней установки и выполняет коммутацию обесточенных участков сети напряжением 10 кВ.

Паспортные данные разъединителя РВ-СЭЩ-10 представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры разъединителя марки РВ-СЭЩ-10

Параметр	Расчетные данные	Каталожные данные
Номинальное напряжение	10 кВ	10 кВ
Номинальный ток	308 А	630 А
Электродинамическая стойкость	6,6 кА 16,054 кА	20 кА 51 кА
Термическая стойкость	14,37 кА ² ·с	120 кА ² ·с

Разъединитель РВ-СЭЩ-10/630 удовлетворяет условиям выбора и устанавливается в отходящих ячейках. На вводных ячейках устанавливается разъединитель РВ-СЭЩ-10/1000.

5.6 Выбор жестких шин

Для использования в закрытых распределительных устройствах (ЗРУ) напряжением 6-10 кВ электрических подстанций целесообразно применение алюминиевых шин. Применение в ЗРУ медных шин не целесообразно, так как стоимость таких шинных конструкций гораздо выше. Шины на подстанции окрашиваются в цвета согласно ПУЭ, для маркировки фаз и защиты шин от окисления, так же окрашивание шин увеличивает их охлаждение.

Шины в распределительных устройствах подстанций должны выбираться исходя из нагрузки, по току. Определим требуемое минимальное сечение алюминиевых шин для распределительного устройства подстанции по выражению:

$$S = \frac{I_{\text{раб.ном}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (35)$$

$$S = \frac{308}{1,3} = 236,92 \text{ мм}^2.$$

$j_{\text{ЭК}}$ – экономическая плотность тока, согласно ПУЭ, выбирается в зависимости от материала проводника и продолжительности максимума нагрузки.

По полученному значению, выберем алюминиевые шины прямоугольного сечения $50 \times 5 \text{ мм}^2$. Для данного сечения алюминиевых шин длительно допустимый ток равен $I_{\text{дон}} = 665 \text{ А}$.

Далее выполним проверку выбранного сечения по условию:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{дон}}, \quad (36)$$

$$308 \text{ А} \leq 665 \text{ А}.$$

Так же необходимо выполнить проверку шин на термическую стойкость учитывая время действия релейной защиты на отключение тока короткого замыкания.

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C_T}, \quad (37)$$

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{14,37 \cdot 10^3}}{90} = 42,12 \text{ мм}^2.$$

Определенное минимальное сечение, соответствующее рассчитанным значениям, сравним с выбранным сечением шин:

$$S_{\min} \leq S, \quad (38)$$

$$42,12 \text{ мм}^2 \leq 250 \text{ мм}^2.$$

Выбранное сечение удовлетворяет условию термической стойкости.

Далее необходимо определить собственную частоту колебания шин при протекании ТКЗ:

$$f_0 = \frac{r_1^2}{2\pi l} \cdot \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (39)$$

$$f_0 = \frac{4,73^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1^2} \cdot \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 0,052 \cdot 10^{-8}}{0,675}} = 26,16 \text{ Гц}.$$

«где r_1 – параметр собственной частоты шины,

m – масса шины,

E – модуль упругости материала,

J – момент инерции поперечного сечения шины,

l – длина пролета между изоляторами» [2, 9, 12].

Определим массу выбранной шины для установки в ЗРУ:

$$m = \rho \cdot b \cdot h \cdot l, \quad (40)$$

$$m = 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 100 = 0,675 \text{ кг/м}.$$

Определим значение момента инерции для шины:

$$J = \frac{hb^3}{12}, \quad (41)$$

$$J = \frac{5 \cdot 0,5^2}{12} = 0,052 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Полученное значение частоты собственных колебаний не превышает величины 30 Гц поэтому резонанс не наступит.

Выполним проверку на электродинамическую стойкость по выражению:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot l_{из}^2 \cdot i_{уд}^2 \cdot \kappa_{\phi} \cdot \kappa_{расп}}{\lambda \cdot W \cdot a}, \quad (42)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1^2 \cdot (16054)^2 \cdot 0,7 \cdot 1}{12 \cdot 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8} = 15,5 \text{ МПа.}$$

«где $l_{из}$ – длина пролета,

a – расстояние между фазами,

κ_{ϕ} – коэффициент формы,

$\kappa_{расп}$ – коэффициент, зависящий от взаимного расположения проводников

λ – коэффициент, зависящий от условия закрепления шины,

W – момент поперечного сечения шины» [2, 9, 12].

Момент поперечного сечения шины определим из выражения:

$$W = \frac{hb^2}{6}, \quad (43)$$

$$W = \frac{5 \cdot 0,5^2}{6} = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Условие электродинамической стойкости:

$$\sigma_{раб} \leq \sigma_{дон}, \quad (44)$$

$$15,5 \text{ МПа} \leq 75 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, принимаем выбранные шины к установке в распределительном устройстве

5.7 Выбор изоляторов

Для установки шин в ЗРУ Выбираем опорный изолятор ИОР-10-7,5, который можно приобрести в компании «ЭТМ». В таблице 10 приведены технические характеристики изолятора.

Таблица 10 – Технические характеристики ИОР-10-7,5

Длина	120 мм
Ширина	115 мм
Высота	115 мм
Материал изделия	Фарфор
Климатическое исполнение	УХЛ2

Производить выбор изоляторов необходимо по следующим параметрам:

«Номинальное напряжение:» [13]

$$U_{ном} \geq U_{сет.ном}, \quad (45)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}.$$

«По допустимой токовой нагрузке на головку опорного изолятора:»[13]

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot \kappa_{\phi} \cdot \kappa_{расч} \cdot l_{из}, \quad (46)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(16054)^2}{0,8} \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1,5 = 50,22 \text{ Н},$$

$$F_{дон} = 0,6 \cdot F_{расч} \cdot \frac{H_{из}}{H}, \quad (47)$$

$$F_{дон} = 0,6 \cdot 7500 \cdot \frac{0,120}{0,151} = 3576 \text{ Н.}$$

где $F_{расч}$ – разрушающая нагрузка на изгиб, берется из каталога изолятора,
 $H_{из}$ – высота изолятора.

$$H = H_{из} + b + \frac{h}{2}, \quad (48)$$

$$H = 0,115 + 0,006 + 0,03 = 0,151 \text{ мм,}$$

$$F_{расч} \leq F_{дон}, \quad (49)$$

$$50,22 \text{ Н} \leq 3576 \text{ Н.}$$

Из данного выражения видно, что выбранный изолятор прошёл проверку по всем параметрам.

5.8 Выбор предохранителя

Высоковольтный предохранитель устанавливается в сетях выше 1кВ для защиты различного электрооборудования от токов КЗ и различных перегрузок.

Для выбора предохранителя необходимо произвести расчет и сравнение по следующим параметрам:

«Номинальное напряжение:» [13]

$$U_{ном} \geq U_{сет.ном}, \quad (50)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ.}$$

«По рабочему току:»[13]

$$I_{раб} \leq I_{ном}, \quad (51)$$

$$20 \text{ A} \leq 31,5 \text{ A}.$$

«По конструкции и роду установки.»[13]

«По току отключения:»[13]

$$I_{p.откл} \leq I_{p.откл.ном}, \quad (52)$$

$$16,054 \text{ кА} \leq 31,5 \text{ кА}.$$

К установке примем предохранитель марки ПКТ-102. Предохранитель ПКТ-102 имеет кварцевый наполнитель и предназначен для применения в силовых цепях для защиты трансформаторов, воздушных и кабельных линий.

Для сравнения данных расчетных данных и каталожных данных, занесем все результаты в таблицу 11.

Таблица 11 –Параметры предохранителя марки ПКТ-102

Параметр, единица измерения	Расчетные значения	Каталожные значения
$U_{ном}$, кВ	10	10
I_p , А	20	31,5
$I_{откл}$, кА	16,054	31,5

Предохранитель марки ПКТ-102 удовлетворяет условиям выбора и может быть принят к установке в распределительном устройстве 6 кВ подстанции 110/35/6 кВ «Ново-Чернитская».

5.9 Выбор кабелей

Выбор кабелей в электроустановках производится по следующим параметрам.

По напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{сет.ном}, \quad (53)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 6 \text{ кВ}.$$

По конструкции.

По экономической плотности тока:

$$s_{\text{э}} = \frac{I_{\text{норм}}}{j_{\text{э}}}, \quad (54)$$

$$s_{\text{э}} = \frac{308}{1,4} = 220 \text{ мм}^2.$$

Для кабелей с алюминиевыми жилами по [13] принимаем $j_{\text{э}}$ равное 1,4.

Выбираем два кабеля марки АПвП 3х120/16. Выбранный кабель АПвП 3х120/16 является трехжильным кабелем с алюминиевыми жилами, изоляция кабеля выполнена из сшитого полиэтилена, а оболочка кабеля выполнена из полиэтилена.

По допустимому току:

$$I_{\text{продол.расч}} \leq I_{\text{дл.доп}}, \quad (55)$$

$$I_{\text{дл.доп}} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot I_{\text{доп.ном}}.$$

где κ_1 и κ_2 – коэффициенты прокладки кабеля,

$I_{\text{дл.доп}}$ – длительно допустимый ток для кабеля выбранного сечения.

$$I_{\text{дл.доп}} = 0,93 \cdot 265 \cdot 2 = 492,9 \text{ А}, \quad (56)$$

$$308 \text{ А} \leq 492,9 \text{ А}.$$

По термической стойкости:

$$B_{\kappa} = I_{n,0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (57)$$

$$B_{\kappa} = 6,6^2 \cdot (0,3 + 0,02 + 0,01) = 14,37 \cdot 10^6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Определим минимальное сечение кабеля по значению термической стойкости:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C_T}, \quad (58)$$

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{14,37 \cdot 10^3}}{65} = 58,32 \text{ мм}^2.$$

где C_T – значение функции, равное 65, для алюминиевых кабелей напряжение 10 кВ.

Таким образом, выбранный кабель удовлетворяет условиям термической стойкости, т.к.:

$$s_{\min} \leq s, \quad (59)$$

$$58,32 \text{ мм}^2 \leq 120 \text{ мм}^2.$$

6 Собственные нужды подстанции

Так как рассматриваемое распределительное устройство расположено на понизительной подстанции, то в распределительном устройстве необходимо предусмотреть источник электроснабжения собственных нужд (СН) подстанции.

Для определения мощности источников питания собственных нужд подстанции, необходимо определить число и виды электроприемников собственных нужд. На подстанции установлены силовые трансформаторы, система охлаждения которых должна быть учтена при расчете нагрузок СН. Так же на подстанции присутствует маслохозяйство, освещение, подогрев приводов и ящиков, а также отопление ЗРУ 6 кВ и т.д.

7 Расчет освещения

При реконструкции распределительного устройства необходимо произвести расчет освещения, так как распределительное устройство 6 кВ выполнено как закрытое распределительное устройство. Здание закрытого распределительного устройства требует искусственного освещения, для удобства и безопасности проведения работ в ЗРУ оперативным и ремонтным персоналом. При проектировании системы искусственного освещения необходимо использовать современные виды источников света, так как это снизит затраты на собственные нужды подстанции.

Так же при реконструкции системы искусственного освещения необходимо обеспечить требуемый уровень освещенности. Уровни освещенности регламентируются в зависимости от типа помещения и вида работ которые производятся в этом помещении. Для определения уровня освещенности для помещения ЗРУ необходимо рассмотреть СП 52.13330.2011. Согласно СП 52.13330.2011, для жарких помещений с малым выделением влаги и с VI разрядом зрительных работ, освещенность должна быть на уровне 200 Лк.

Источниками искусственного освещения, в проекте реконструкции будем применять светодиодные светильники российского производства. Другие светильники, применять не целесообразно, так как их эффективность ниже, а стоимость светодиодных светильников в последнее время значительно снизилась, что делает их использование более выгодным.

Для использования в помещениях ЗРУ примем светильник типа «ARCTIC.OPL ECO LED 1200 5000K».

В таблице 12 приведены технические характеристики данного светильника.

Характеристики выбранного типа светильника представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики светильника

Напряжение питания светильника, В	220
Степень защиты корпуса светильника	IP65
Потребляемая мощность	45 Вт
Тип источника света	LED
Длина	1278 мм
Ширина	170 мм
Высота	110 мм
Цветовая температура	5000 К
Заявленный срок службы светодиодов	50000 ч
Мощность светового потока	4850 Лм

Приняв данный вид светильников к установке в помещении ЗРУ, необходимо выполнить расчет числа необходимых светильников. Для этого определим расчетную высоту:

$$h_{расч} = H - h_1 - h_2, \quad (60)$$

$$h_{расч} = 5 - 1 - 0 = 4 \text{ м.}$$

«где H – высота здания,

h_1 –высота от пола,

h_2 –высота от потолка.»[1, 3].

Далее необходимо найти расстояние между соседними в ряду светильниками:

$$L = \lambda_c \cdot h_{расч}, \quad (61)$$

$$L = 1,2 \cdot 4 = 4,8 \text{ м.}$$

« λ_c – расстояние между выбранными светильниками» [1, 3].

Далее определим число рядов светильников:

$$n = \frac{B - 2 \cdot \frac{L}{2}}{\frac{L}{2}} + 1, \quad (62)$$

$$n = \frac{6 - 2 \cdot 2,4}{2,4} + 1 = 1,5 \approx 2 \text{ ряда}$$

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h_{расч} \cdot (A + B)}, \quad (63)$$

$$i = \frac{16 \cdot 6}{4 \cdot (16 + 6)} = 1,09.$$

Зададимся коэффициентами отражения для потолка, стен и пола. Для потолка коэффициент отражения $\rho_{пот} = 0,7$, $\rho_{стен} = 0,5$, $\rho_{пол} = 0,3$.

Определив индекс помещения и коэффициенты отражения далее определим коэффициент использования светового потока. Для индекса помещения ($i = 1,09$) коэффициент использования светового потока равна $\eta = 0,43$.

Далее найдем количество светильников в каждом ряду по выражению:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot \kappa_z \cdot z}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\lambda}}, \quad (64)$$

$$N = \frac{200 \cdot (16 \cdot 6) \cdot 1,1 \cdot 1}{0,43 \cdot 1 \cdot 4850} \approx 10,2 = 10 \text{ шт.}$$

«где E —требуемая горизонтальная освещенность,

S — площадь помещения,

K_z — коэффициент запаса,

z — значение неравномерности освещения,

n — количество рядов светильников.

$\Phi_{\text{л}}$ — световой поток одной лампы»[1, 3].

Согласно выполненным расчетам получаем, что в помещении ЗРУ светильники будут располагаться в 2 ряда. В каждом ряду предлагается установить 10 светильников. Общее количество светильников для ЗРУ – 20 шт.

Далее определим световой поток, создаваемый определенным выше числом светильников по выражению:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_z \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta \cdot N}, \quad (65)$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot (16 \cdot 6) \cdot 1}{20 \cdot 2 \cdot 0,43} = 2672 \text{ лм}.$$

Световой поток светильника, согласно заявленным характеристикам 4850 Лм, а расчетный 2672 Лм, тем самым нам удовлетворяет выбранный светильник.

Последним этапом, определим общую мощность системы искусственного освещения ЗРУ:

$$P = n \cdot N \cdot P, \quad (66)$$

$$P = 2 \cdot 20 \cdot 45 = 1800 \text{ Вт}.$$

8 Расчет заземления

Так как распределительное устройство 6 кВ выполнено закрытым, то использование естественных заземлителей при проектировании системы заземления будет затруднительным, поэтому выполним расчет системы искусственного заземления распределительного пункта. Для искусственной системы заземления распределительного устройства напряжением 6 кВ необходимо выбрать искусственные заземлители. Выберем круглые оцинкованные стальные стержни. Размер стержня: диаметр стержня 12 мм, длина стержня 3 м. Установку стержней предполагается произвести по периметру здания ЗРУ 6 кВ. Расстояние между вертикальными заземлителями (стержнями) примем равным 3 м. На глубине 0,7 метров примем расположение горизонтального заземлителя. В качестве горизонтального заземлителя принимается стальная оцинкованная полоса. В качестве грунта вокруг заземлителей взят песок, его удельное сопротивление равно $\rho = 700 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Здание распределительного устройства расположено в первой климатической зоне. Для рассматриваемого распределительного устройства сопротивление заземляющего устройства примем $R_z = 8 \text{ Ом}$.

Первым этапом расчета системы искусственного заземления необходимо определить величину допустимого сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) при условии выбранного грунта:

$$R_z = \frac{R_{zp}}{100} \cdot R_z, \quad (67)$$

$$R_z = \frac{700}{100} \cdot 8 = 56 \text{ Ом}.$$

Далее определяем сопротивление растеканию вертикального заземлителя:

$$R_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч.в}}{l} \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t' + l}{4t' - l} \right), \quad (68)$$

$$R_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot 1330}{3} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,012} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 1,05 + 3}{4 \cdot 1,05 - 3} \right) = 501 \text{ Ом}.$$

«где l – длина выбранного заземлителя,
 d – диаметр выбранного заземлителя» [20].

$$\rho_{расч.в} = \kappa_c \cdot \rho_{зр}, \quad (69)$$

$$\rho_{расч.в} = 1,9 \cdot 700 = 1330 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«где κ_c – значение коэффициента сезонности для выбранной климатической зоны» [13].

$$t' = t_0 \cdot \frac{1}{2} l, \quad (70)$$

$$t' = 0,7 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 = 1,05 \text{ м}.$$

«где t_0 – глубина заложения заземлителя.» [20].

Количество вертикальных заземлителей определим по выражению:

$$n_{\epsilon} = \frac{R_{\epsilon}}{\eta_{\epsilon} \cdot R_3}, \quad (71)$$

$$n_{\epsilon} = \frac{501}{0,48 \cdot 56} \approx 18,6 = 19 \text{ шт}.$$

«где η_{ϵ} – коэффициент использования вертикальных заземлителей, расположенных по контуру» [20].

Определим длину горизонтального заземлителя:

$$l_z = a \cdot n_g, \quad (72)$$

$$l_z = 3 \cdot 19 = 57 \text{ м.}$$

Далее определяем сопротивление растеканию вертикального заземлителя:

$$R_z = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч.г}}{l} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t_0}, \quad (73)$$

$$R_z = \frac{0,366 \cdot 3500}{57} \cdot \lg \frac{2 \cdot 57^2}{0,04 \cdot 0,7} = 121 \text{ Ом.}$$

«где $\rho_{расч.г}$ рассчитывается по формуле с учетом коэффициента сезонности для климатической зоны I» [20]:

$$\rho_{расч.г} = \kappa_c' \cdot \rho_{гп}, \quad (74)$$

$$\rho_{расч.г} = 5 \cdot 700 = 3500 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Действительное сопротивление растекания для горизонтального заземлителя:

$$R_z' = \frac{R_z}{\eta_z}, \quad (75)$$

$$R_z' = \frac{121}{0,27} = 448,14 \text{ Ом.}$$

«где η_g – коэффициент использования горизонтальных заземлителей» [20].

Сопротивление растекания вертикальных заземлителей при условии учета горизонтального заземлителя:

$$R'_\epsilon = \frac{R'_2 \cdot R_3}{R'_2 - R_3}, \quad (76)$$

$$R'_\epsilon = \frac{448,14 \cdot 56}{448,14 - 56} = 64 \text{ Ом}.$$

Далее уточним количество вертикальных заземлителей:

$$n'_\epsilon = \frac{R_\epsilon}{\eta_\epsilon \cdot R'_\epsilon}, \quad (77)$$

$$n'_\epsilon = \frac{501}{0,48 \cdot 64} = 16,3 \text{ шт.}$$

Выполнив все расчеты системы искусственного заземления получаем, что по периметру здания ЗРУ необходимо установить 17 вертикальных заземлителей.

9 Выбор микропроцессорной релейной защиты

В соответствии с требованиями правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) [14], «любое силовое электрооборудование должно быть защищено от токов короткого замыкания» [14] и различных возможных аварийных режимов. Для выполнения защиты оборудования и электроустановок от повреждений и аварийных режимов работы применение находят специальные устройства релейной защиты. Широкое применение в электроустановках нашли электромеханические устройства релейной защиты. Однако в настоящее время, электромеханические устройства релейной защиты заменяются более современными – микропроцессорными. Микропроцессорные устройства релейной защиты в короткие сроки предотвратят аварийные ситуации в электроустановках и выдаст предупреждение персоналу подстанции об возникших неисправностях.

Для установки на электроустановках ЗРУ 6 кВ примем к установке микропроцессорные блоки релейной защиты марки «Сириус». Блоки микропроцессорной защиты «Сириус» позволяют подобрать и построить оптимальную систему для защиты электроустановок от повреждения.

9.1 Расчет МТЗ с пуском по напряжению

Определим первичный ток срабатывания защиты по условию отстройки от номинального тока $I_{ном}$ на стороне, где установлена рассматриваемая защита по выражению:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n}{K_B} \cdot I_{ном}, \quad (78)$$

$$I_{с.з.} = \frac{1,2}{0,85} \cdot 308 = 435 \text{ А.}$$

где K_n – коэффициент надежности,

K_B – коэффициент возврата токового реле.

Определим ток срабатывания для реле:

$$I_{CP.} = \frac{K_{ex}}{n_T} \cdot I_{c.з.}, \quad (79)$$

$$I_{CP.} = \frac{1}{400/5} \cdot 435 = 5,44 \text{ А.}$$

Определим напряжение срабатывания защиты и напряжение срабатывания реле $U_{c.з.}$ и $U_{cp.}$

Реле минимального напряжения подключается к трансформатору напряжения установленного на каждой секции шин распределительного устройства 6 кВ.

Определим напряжение срабатывания защиты:

$$U_{C.з.} = \frac{U_{РАБ.min.}}{K_n \cdot K_B}, \quad (80)$$

$$K_n = 1,1 - 1,2,$$

$$K_B = 1,15,$$

$$U_{РАБ.min.} = (0,9 - 0,95) \cdot U_{ном},$$

$$U_{C.з.} = \frac{0,9 \cdot 10,5}{1,1 \cdot 1,15} = 7,47 \text{ кВ},$$

$$U_{CP.} = \frac{U_{c.з.}}{n_T}, \quad (81)$$

$$U_{CP.} = \frac{7,47}{10000/100} = 74,7 \text{ В.}$$

Выдержка времени МТЗ согласовывается с временем действия защит отходящих присоединений соответствующей стороны.

$$t_{HH} = t_{прис} + \Delta t,$$

$$\Delta t = (0,4 - 0,6) \cdot c.$$

Произведем проверку коэффициентов на чувствительность.

Токовые коэффициенты чувствительности K_q проверяются по токам внешнего КЗ, в качестве которых для нашего режима может принято КЗ. на шинах 10 кВ.

$$K_q = \frac{I_{KЗ}^{(2)}}{I_{CЗ}}, \quad (82)$$

$$K_q = \frac{0,87 \cdot 6600}{435} = 13,2 > 1,2.$$

Таким образом, МТЗ удовлетворяют требованиям, предъявляемым к чувствительности защиты и могут применяться в качестве защиты шин распределительного устройства 6 кВ подстанции 110/35/6 кВ «Ново-Чернитская».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе выполнен проект модернизации электрооборудования распределительного устройства напряжением 6 кВ понизительной подстанции «Ново-Чернитская».

Проведен анализ электрооборудования подстанции 110/35/6 кВ «Ново-Чернитская», а также анализ существующей схемы распределительного устройства. Представлен расчет электрических нагрузок по распределительному устройству. По результатам расчета электрических нагрузок построен суточный график активной и реактивной мощности распределительного устройства напряжением 6 кВ. На основании нормативных документов и стандартов организации, в распределительном устройстве решено сохранить существующую схему распределительного устройства. Выполнен расчет токов короткого замыкания. На основании проведенных расчетов ТКЗ выполнена проверка оборудования, принятого для установки на РУ 6 кВ. Для выбора оптимального состава электрооборудования распределительного устройства, проведен сравнительный анализ оборудования различных производителей. Для каждой позиции рассматривалось три варианта. На основании проведенного анализа к установке в распределительном устройстве приняты камеры сборные одностороннего обслуживания типа КСО-СЭЩ-298М – производства завода Самарский-Электрощит; вакуумные выключатели серии ВВУ-СЭЩ-10, так же производства Самарского завода Электрощит, измерительные трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10 – производства Самарского завода Электрощит, трансформаторы напряжения марки ЗНОЛ-СЭЩ-10 - производства Самарского завода Электрощит, разъединитель вертикальный типа РВ-СЭЩ-10 - производства Самарского завода Электрощит, опорные изоляторы марки ИОР-10-7,5. Также в работе выполнен выбор сечения жестких шин принятых к установке в РУ 6 кВ и выполнена их проверка на стойкость токам КЗ. Представлен расчет собственных нужд подстанции 110/35/6 кВ «Ново-Чернитская». Для освещения помещения ЗРУ 6 кВ выполнен

расчет освещения, исходя из результатов которого в ВКР выбраны энергосберегающие светодиодные светильники производства компании «Световые Технологии», Россия. К установке в помещении ЗРУ принято 20 светильников, расчетное количество светильников должно обеспечить в помещении требуемый уровень освещенности в размере 200 Лк. Для установки на подстанции предлагается использовать блоки микропроцессорной защиты марки «Сириус», данный производитель хорошо зарекомендовал себя на рынке микропроцессорных защит. В работе выполнен расчет уставок МТЗ с пуском по напряжению.

Выполнен расчет заземляющего устройства РУ 6 кВ, рассчитано число вертикальных заземлителей и длина горизонтального заземлителя. Заземление ЗРУ предлагается выполнить по периметру здания ЗРУ стальными стержнями диаметром 12 мм, а также стальной полосой. Результаты расчета системы заземления удовлетворяют требованиям нормативной документации[13].

В результате выполнения выпускной квалификационной работы выполнен проект модернизации электрооборудования понизительной подстанции «Ново-Чернитская», который соответствует всем современным нормам и требованиям в плане обеспечения надежности и качества электроснабжения потребителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. – СПб.: Лань, 2014. – 192 с.
2. Балаков, Ю.Н. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 288 с.
3. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко – Тольятти: ТГУ, 2016. – 75 с.
4. Измерительные трансформаторы тока // Производственно-коммерческая компания «КЭРС» URL: <http://kers.su/upload/files/37e93ca8f723eb6e0350e5c5af8515ce.pdf> (дата обращения: 11.06.2018).
5. Каталог. Вакуумные выключатели 6 (10) кВ // Электрощит Самара URL: https://electroshield.ru/upload/iblock/599/catalog_vvu_electroshield.ru.pdf (дата обращения: 11.06.2018).
6. Каталог. Камеры сборные одностороннего обслуживания на напряжение 6 (10) кВ // Электрощит Самара URL: https://electroshield.ru/upload/iblock/63b/Katalog-KSO_SESHCH-6_10_.pdf (дата обращения: 11.06.2018).
7. Конюхова, Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: учебник для вузов. – М.: Русайнс, 2016. – 102 с.
8. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий / Э.А. Киреева - М.: КноРус, 2013. – 368 с.
9. Кузнецов, С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций: учебное пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 92 с.
10. Маньков, В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. - СПб.: Прокниг, 2014. – 396 с.
11. Общая техническая информация. Выключатели вакуумные высоковольтные 6-10 кВ // НПП "Контакт" URL: <http://www.kontakt->

saratov.ru/vikl_vbe_10_31-5/teh_harakter_vbe_10-315/ (дата обращения: 11.06.2018).

12. Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: учеб. пособие. – М.: Форум-Инфра, 2013. – 480 с.

13. Правила устройства электроустановок. М.: ЭНАС, 2015. – 552 с.

14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. от 1 июля 2003. – 2003 г.

15. Проходные трансформаторы тока ТПОЛ-10. // ОАО "Свердловский завод трансформаторов тока" URL: http://www.cztt.ru/tpol_10.html (дата обращения: 11.06.2018).

16. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие для вузов / под ред. И.П. Крючкова [и др.]. – М.: Академия, 2014. – 468 с.

17. РД "Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования" от 23.03.1998 № 153-34.0-20.527-98 // Изд-во НЦ ЭНАС. – 2006 г.

18. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение: учеб. пособие. – М.: Директ-медиа, 2014.

19. Старшинов, В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козина – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 296 с.

20. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части пониженной подстанции: учебно-методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования / Ю.В. Степкина, В.М. Салтыков – Тольятти: ТГУ, 2015. – 124 с.

21. СТО "СТО 34.01-3.1-002-2016. Типовые технические решения подстанций 6-110 кВ" от 19.09.2016 № 34.01-3.1-002-2016 // Официальный сайт ПАО "РОССЕТИ". – 2016 г.

22. Техническая информация. Вакуумный выключатель ВВ/TEL // Таврида Электрик URL: [https://tavrida.com /upload/iblock/ 117/1175b4c83c099ae3e31183cd8622e164.pdf](https://tavrida.com/upload/iblock/117/1175b4c83c099ae3e31183cd8622e164.pdf) (дата обращения: 11.06.2018).
23. Техническая информация. Камеры сборные одностороннего обслуживания (КСО) "Новация" // Таврида Электрик URL: <https://www.tavrida.com/upload/iblock/eb0/eb073b0088934fe4352e672c69ea342c.pdf> (дата обращения: 11.06.2018).
24. Техническая информация. Камеры сборные одностороннего обслуживания КСО-207В // Чебоксарский электроаппаратный завод. URL: <http://www.cheaz.ru/assets/images/production/3-kru/4-kso-207/kso-207.pdf> (дата обращения: 11.06.2018).
25. Техническая информация. Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ - 10 // Электрощит Самара URL: [https:// electroshield.ru/upload/iblock/b57/ti_tol10_electroshield.ru.pdf](https://electroshield.ru/upload/iblock/b57/ti_tol10_electroshield.ru.pdf) (дата обращения: 11.06.2018).
26. Bhalja B., Maheshwari R. P., Chothani N. Protection and Switchgear (Oxford Higher Education). - 1 изд. - Oxford: Oxford University Press, 2016. - 576 с.
27. Croft T., Hartwell F.P., Summers W.I. American Electricians' Handbook. – 16 изд. - New York City: McGraw-Hill Education, 2013. – 1712 с.
28. Gönen T. Electric Power Distribution Engineering. – 3 изд. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 1061 с.
29. McPartland J.F., McPartland B.J., McPartland S.P. McGraw-Hill's Handbook of Electric Construction Calculations. – New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2013. – 320 с.
30. Ram B. Power System Protection and Switchgear. – New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2013. – 684 с.