

Аннотация

Выпускная квалификационная работа бакалавра посвящена реконструкции электрической части понизительной подстанции 750 Кв «Владимирская» с установленными трансформаторами АОДТЦН – 417000/750/500.

Целью данной работы является поднятие уровня надежности и безопасности электрооборудования, установленного на подстанции, а так же обеспечение соответствия этого оборудования новым нормам и требованиям.

В этой работе мы используем основную технологию, используемую для реконструкции электрической части понизительной подстанции, и представляем основные нормативные документы, необходимые при выборе и расчете оборудования.

В данной работе рассчитаны электрические нагрузки подстанции, токи коротких замыканий в номинальном режиме работы энергосистемы, выполнены расчеты заземления и молниезащиты. А так же выбраны силовые трансформаторы и необходимое оборудование подстанции.

В графическую часть выпускной квалификационной работы входят электрические схемы ОРУ 750 кВ, ОРУ 500 кВ, чертежи электрических аппаратов.

Выпускная квалификационная работа содержит 59 страниц, 6 рисунков, 15 таблиц.

Abstract

The title of diploma paper is: «Reconstruction of substation 750 kV "Vladmirskaya". This graduation project is devoted to renewal of the electrical part of the substation.

The graduation diploma paper contains 59 pages, 6 figures and 15 tables.

In this work, the main techniques used in the reconstruction of the electrical part of the substation are disassembled and used, and the main regulatory documents are given, on the basis of which decisions are taken on the selection and calculation of equipment.

The calculation of electrical loads, the selection of power transformers, the calculation of short-circuit currents in the nominal operating mode of the power system, the choice of equipment is made.

Relay protection elements are selected. The operational current is determined. The substation's own needs are calculated. The measurement system at the substation is defined. The calculation of grounding and lightning protection is performed.

The graphical part of the final qualifying work includes the main electrical diagram of the substation before and after reconstruction, drawings of electrical apparatus.

It can be concluded that the data will allow us to fully prepare for the upcoming reconstruction. The technique applied has confirmed that the state of the power supply system of the building does not comply with the existing norms and rules and needs reconstruction.

Содержание

Введение.....	5
1. Расчет электрических нагрузок понизительной подстанции.....	7
2. Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов	11
3. Расчет токов коротких замыканий.....	18
3.1 Расчет симметричных коротких замыканий.....	18
3.2 Расчет несимметричных коротких замыканий.....	23
4. Выбор электрических аппаратов и проводников	27
4.1 Выбор выключателей.....	27
4.2 Выбор разъединителя.....	32
4.3 Выбор трансформаторов тока	33
4.4 Выбор трансформаторов напряжения	39
4.5 Выбор гибких шин.....	41
4.6 Выбор жестких шин и изоляторов	45
5. Расчет заземления подстанции	50
6. Молниезащита подстанции.....	55
Заключение	56
Список используемой литературы и источников	57

Введение

На территории Российской Федерации проблема энергоснабжения промышленных объектов и населенных пунктов играет очень важную роль, так как большая часть нашей необъятной страны находится в суровых климатических условиях, что увеличивает требования к надежности систем энергоснабжения.

К тому же технологии прогрессируют с огромной скоростью, а люди, соответственно стараются от них не отставать, покупая все больше и больше новых потребителей (электрочайники, кондиционеры, кофеварные машины и прочее). Соответственно увеличивается потребление электроэнергии и нагрузка на силовые агрегаты распределительных подстанций, идет большой рост автоматизации промышленных предприятий. Поэтому современная энергетика России должна модернизироваться, улучшая качество передачи и производство электроэнергии. Возникает необходимость повышения экономической эффективности, а также, не забывая об экологической проблеме в стране, минимизировать экологическое воздействие агрегатов в данной отрасли.

Необходимо постепенно выводить устаревшее, изношенное и неремонтопригодное оборудования с заменой на современные оборудования согласно новым нормативам и нынешним потребителям. В сфере энергоснабжения так же необходимо следовать в ногу со временем при реконструкции различных объектов добычи и распределения электроэнергии, устанавливая на них оборудования, так сказать по последнему слову техники.

В выпускной классификационной работе рассматривается реконструкция электрической части подстанции «Владимирская». В связи с новыми нормативами, оборудование, установленное на подстанции, настоящим проектом «Реконструкция электрической части подстанции 750 кВ «Владимирская» предусматривается замена морально и физически устаревших агрегатов таких как: трансформаторы тока, разъединители, реконструкция действующих устройств ЗРУ и ОРУ с целью повышения

надежности агрегатов, повышения их эффективности. Так же необходимо учесть соответствие агрегатов с новыми экологическими нормами.

1 Расчет электрических нагрузок понизительной подстанции

Расчет нагрузок произведем при напряжении 750 кВ согласно [7].

Из [20] для расчета электрических нагрузок взят график годовых нагрузок (Рисунок 1). Для построения данного графика было использовано значение максимальной нагрузки P_{\max} , кВт.

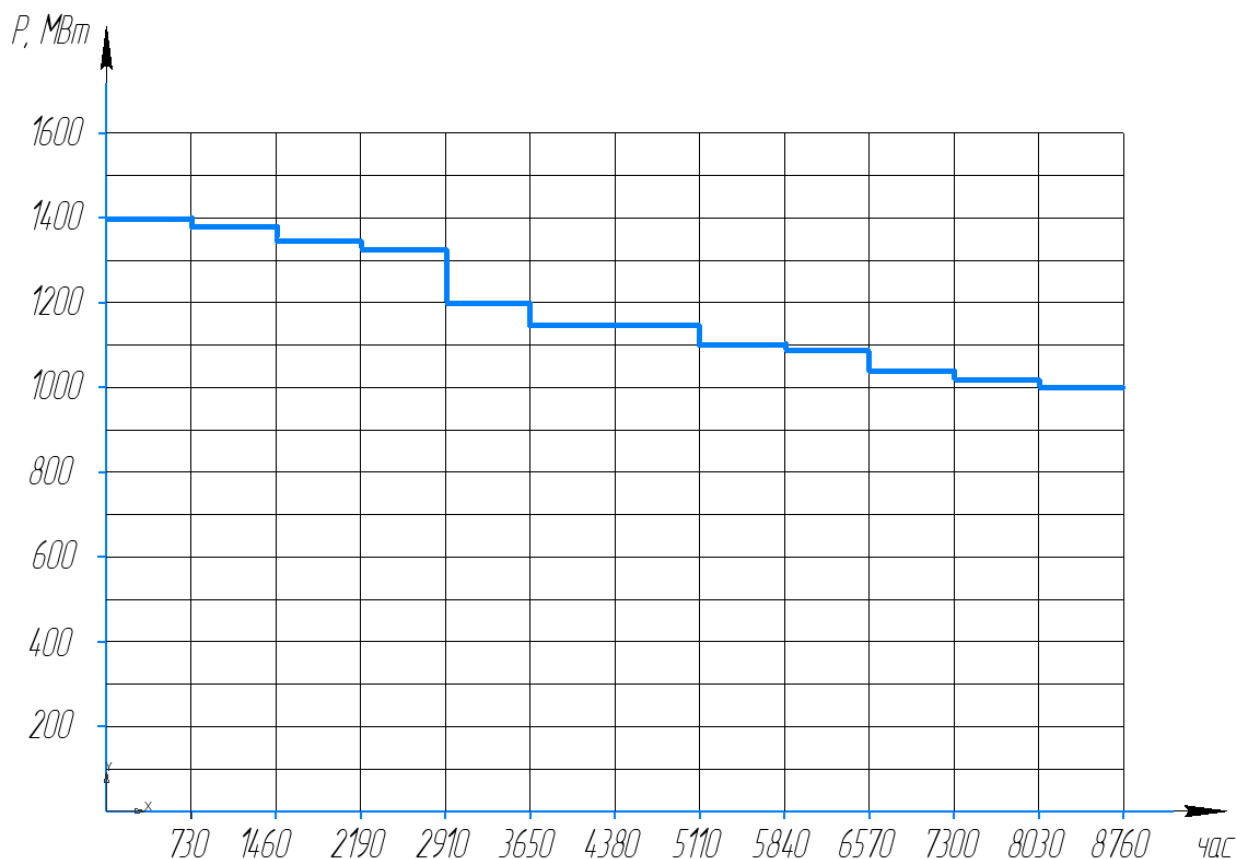


Рисунок 1–График годовых активных нагрузок

В соответствии с графиком рассчитаем потребляемую электроэнергию $W_{\text{ПС}}$ по формуле:

$$W_{\text{ПС}} = \sum_{i=1}^n P_i(t) \cdot t_i \quad (1.1)$$

«где P_i - значение активной мощности на i -ой ступени графика электрических нагрузок, МВт; t_i – продолжительность i -ой ступени графика нагрузок, ч.» из [7].

$$W_{\text{ПС}} = 1400 \cdot 730 + 1380 \cdot 730 + 1350 \cdot 730 + 1330 \cdot 730 + 1200 \cdot 730 + 1150 \cdot 1460 + 1100 \cdot 730 + 1090 \cdot 730 + 1030 \cdot 730 + 1020 \cdot 730 + 1000 \cdot 730 = 10366000 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Произведем расчет продолжительности потребления максимума активной мощности T_M , ч, по формуле:

$$T_M = \frac{W_{\text{ПС}}}{P_{\text{max}}} \quad (1.2)$$

$$T_M = \frac{10366000}{1400} = 7404 \text{ ч}.$$

Рассчитаем коэффициент заполнения графика $K_{\text{зап}}$:

$$K_{\text{зап}} = \frac{T_M}{8760} \quad (1.3)$$

$$K_{\text{зап}} = \frac{7404}{8760} = 0,845.$$

Коэффициент мощности потребителей равен $\cos \varphi = 0,92$ согласно [20]. По известному значению активной мощности, длительности и коэффициента мощности каждой ступени, составляем график годового графика общего потребления энергии (Рисунок 2).

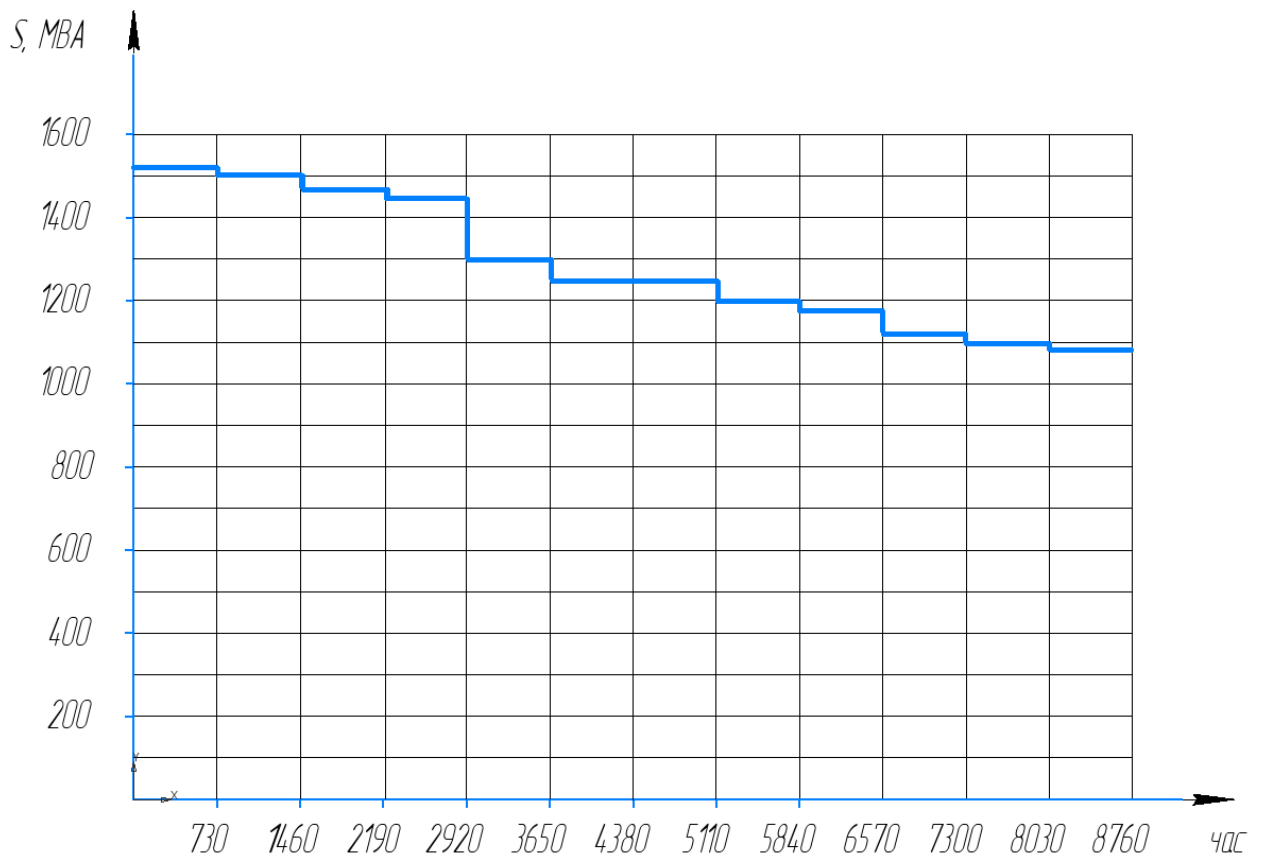


Рисунок 2–График потребления полной мощности

Рассчитаем значение полной мощности S_i , МВА, для каждой ступени графика нагрузок по формуле:

$$S_i = \frac{P_i}{\cos \varphi} \quad (1.4)$$

$$S_1 = 1400/0,92 = 1521,74 \text{ МВА};$$

$$S_2 = 1380/0,92 = 1500 \text{ МВА};$$

$$S_3 = 1350/0,92 = 1467,39 \text{ МВА};$$

$$S_4 = 1330/0,92 = 1445,65 \text{ МВА};$$

$$S_5 = 1200/0,92 = 1304,35 \text{ МВА};$$

$$S_6 = 1150/0,92 = 1250 \text{ МВА};$$

$$S_7 = 1100/0,92 = 1195,65 \text{ МВА};$$

$$S_8 = 1090/0,92 = 1184,78 \text{ МВА};$$

$$S_9 = 1030/0,92 = 1119,57 \text{ МВА};$$

$$S_{10} = 1020/0,92 = 1108,7 \text{ МВА};$$

$$S_{11} = 1000/0,92 = 1086,96 \text{ МВА};$$

Таким образом наибольшая суммарная полная мощность потребителей согласно [20] равна $S_{\text{пс max}} = 1521,74 \text{ МВА}$.

2 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов

Рассчитаем мощность для выбора трансформатора согласно методике [20] по формуле:

$$S_{\text{НОМ.Т}} \approx 0,7 \cdot S_{\text{ПС max}} \quad (2.1)$$

$$S_{\text{НОМ.Т}} \approx 0,7 \cdot 1521,74 = 1065,218$$

Согласно значению $S_{\text{НОМ.Т}}$ выбираем ближайшие большие по мощности трансформаторы. Это будут шесть АОДТЦН – 417000/750/500 выбранные из [13].

Проведем технико-экономический расчет для данного трансформатора. Таблица 1 – Паспортные параметры трансформатора АОДТЦН – 417000/750/500.

$S_{\text{НОМ.Т}}$, МВА	$U_{\text{НОМ. ОБМ.}}$ кВ			$U_{\text{к}}$, %			$\Delta P_{\text{к}}$, кВ	$\Delta P_{\text{х}}$, кВ	$I_{\text{х}}$, %
	ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н			
417	750/ $\sqrt{3}$	500/ $\sqrt{3}$	10,5	11,5	81	68	670	125	0,75

Рассчитаем потери активной, реактивной мощностей и электроэнергии в трансформаторе по методике, изложенной в [7].

Потери реактивной мощности трансформатора в режиме х.х.:

$$Q_{\text{х}} = I_{\text{х}} / 100 \cdot S_{\text{НОМ.Т}} \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{х}} = 0,75 / 100 \cdot 417000 = 3127,5 \text{ квар.}$$

Приведенные потери мощности трансформатора в режиме х. х.:

$$P_{\text{х}}^{\wedge} = \Delta P_{\text{х}} + k_{\text{ун}} \cdot Q_{\text{х}} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{х}}^{\wedge} = 125 + 0,05 \cdot 3127,5 = 281,375 \text{ кВт.}$$

Потери активной мощности к. з. высшей, средней и низкой обмоток трансформатора при полной их загрузке:

$$P_{к.в} = P_{к.с} = P_{к.н} = 0,5 \cdot \Delta P_{к} \quad (2.4)$$

$$P_{к.в} = P_{к.с} = P_{к.н} = 0,5 \cdot 670 = 335 \text{ кВт.}$$

Напряжение к. з. обмоток однофазного трехобмоточного трансформатора:

$$U_{к.в} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-нн} + u_{к.вн-сн} - u_{к.сн-нн}); \quad (2.5)$$

$$U_{к.в} = 0,5 \cdot (81 + 11,5 - 68) = 12,25\%;$$

$$U_{к.с} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-сн} + u_{к.сн-нн} - u_{к.вн-нн}); \quad (2.6)$$

$$U_{к.с} = 0,5 \cdot (11,5 + 68 - 81) = 0\%;$$

$$U_{к.н} = 0,5 \cdot (u_{к.вн-нн} + u_{к.сн-нн} - u_{к.вн-сн}); \quad (2.6)$$

$$U_{к.н} = 0,5 \cdot (81 + 68 - 11,5) = 68,75\%;$$

Рассчитаем потери реактивной мощности соответствующих обмоток в режиме к. з. однофазного трехобмоточного трансформатора по формулам:

$$Q_{к.в} = U_{к.в}/100 \cdot S_{ном.т} \quad (2.7)$$

$$Q_{к.в} = 12,25/100 \cdot 417000 = 51082,5 \text{ квар.}$$

$$Q_{к.с} = U_{к.с}/100 \cdot S_{ном.т} \quad (2.8)$$

$$Q_{к.с} = 0/100 \cdot 417000 = 0 \text{ квар.}$$

$$Q_{к.н} = U_{к.н}/100 \cdot S_{ном.т} \quad (2.9)$$

$$Q_{к.н} = 68,75/100 \cdot 417000 = 286687,5 \text{ квар.}$$

Произведем расчет потерь активной мощности к. з. соответствующих обмоток трехобмоточного трансформатора по формуле:

$$P_{K.B}^{\prime} = P_{K.B} + k_{un} \cdot Q_{K.B} \quad (2.10)$$

$$P_{K.B}^{\prime} = 335 + 0.05 \cdot 51082,5 = 2889,13 \text{ кВт.}$$

$$P_{K.C}^{\prime} = P_{K.C} + k_{un} \cdot Q_{K.C} \quad (2.11)$$

$$P_{K.C}^{\prime} = 335 + 0.05 \cdot 0 = 335 \text{ кВт.}$$

$$P_{K.H}^{\prime} = P_{K.H} + k_{un} \cdot Q_{K.H} \quad (2.12)$$

$$P_{K.H}^{\prime} = 335 + 0.05 \cdot 286687,5 = 14669,34 \text{ кВт.}$$

Произведем расчет коэффициентов загрузки обмоток трансформатора высшего, среднего и низшего напряжений по формулам:

$$K_{3.B} = S_B / S_{НОМ.Т} \quad (2.13)$$

$$K_{3.C} = S_C / S_{НОМ.Т} \quad (2.14)$$

$$K_{3.H} = S_H / S_{НОМ.Т} \quad (2.15)$$

Так как у нас установлены 2 группы из 3-х АОДТЦН – 417000/750/500, то за $S_{НОМ.Т}$ возьмем сумму мощности всех шести трансформаторов (2502 МВА)

$$K_{3.B} = 1521740 / 2502000 = 0,61;$$

$$K_{3.C} = 750600 / 2502000 = 0,3;$$

$$K_{3.H} = 771140 / 2502000 = 0,31.$$

Приведенные потери мощности рассчитаем по формуле:

$$P_T^{\prime} = P_X^{\prime} + K_{3.B}^2 \cdot P_{K.B}^{\prime} + K_{3.C}^2 \cdot P_{K.C}^{\prime} + K_{3.H}^2 \cdot P_{K.H}^{\prime} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} P_T^{\prime} &= 281,375 + 0,372 \cdot 2889,13 + 0,09 \cdot 335 + 0,0961 \cdot 14669,34 = \\ &= 2786,005 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Потери электроэнергии рассчитаем по формуле:

$$\Delta W_{\text{пс}} = \sum \Delta W_{\text{xi}} + \sum \Delta W_{\text{ki}} = \sum \Delta W_{\text{xi}} + \sum \Delta W_{\text{к.вi}} + \sum \Delta W_{\text{к.сi}} + \sum \Delta W_{\text{к.нi}} = \sum n_i \cdot P_x \cdot T_i + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{n} \cdot P_{\text{к.в}} \cdot K_{\text{з.вi}}^2 \cdot T_i + \frac{1}{n} \cdot P_{\text{к.с}} \cdot K_{\text{з.сi}}^2 \cdot T_i + \frac{1}{n} \cdot P_{\text{к.н}} \cdot K_{\text{з.нi}}^2 \cdot T_i \right) \quad (2.17)$$

Все расчеты сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет потерь электроэнергии в группе трансформаторов

i	S_{Bi} , ВА	S_{Ci} , ВА	S_{Hi} , ВА	n i	T_i , ч	ΔW_{xi} , кВт·ч	$K^2_{3.Bi}$	$K^2_{3.ci}$	$K^2_{3.Hi}$	$\Delta W_{к.Вi}$, кВт·ч	$\Delta W_{к.сi}$, кВт·ч	$\Delta W_{к.Нi}$, кВт·ч
1	1521740	750600	771140	6	730	1232422,5	0,372	0,09	0,096	130762,02	3668,25	171337,89
2	1500000	749400	750600	6	730	1232422,5	0,36	0,09	0,09	126513,89	3668,25	160629,27
3	1467390	716790	750600	6	730	1232422,5	0,348	0,084	0,09	122325,76	3423,70	160629,27
4	1445650	720070	725580	6	730	1232422,5	0,336	0,084	0,084	118107,63	3423,70	149920,65
5	1304350	650520	653830	6	730	1232422,5	0,27	0,068	0,068	94907,92	2771,57	121364,34
6	1250000	624500	625500	6	1460	2464845	0,25	0,063	0,063	175755,41	5135,55	224880,98
7	1195650	595170	600480	6	730	1232422,5	0,23	0,058	0,058	80847,49	2363,98	103516,64
8	1184780	584300	600480	6	730	1232422,5	0,221	0,053	0,058	77683,89	2160,19	103516,64
9	1119570	544110	575460	6	730	1232422,5	0,203	0,048	0,053	71356,70	1956,40	94592,79
10	1108700	550440	558260	6	730	1232422,5	0,194	0,048	0,048	68193,10	1956,40	85668,95
11	1086960	536520	550440	6	730	1232422,5	0,185	0,044	0,048	65029,50	1793,37	85668,95
						$\Sigma \Delta W_x = 14789070$				1021483,31	32321,36	1461726,37
							$\Delta W_{nc} = 17304600,99$					

Произведем расчёт стоимости 1 кВт·ч электроэнергии:

$$C_{\text{э}} = \frac{\alpha}{T_{\text{М}}} + \beta \quad (2.18)$$

$$C_{\text{э}} = 825,9/7404 + 1,7 = 1,812 \text{ руб.}$$

Стоимость годовых потерь электроэнергии в трансформаторах рассчитаем по формуле:

$$И_{\text{э}} = \Delta W_{\text{ПС}} \cdot C_{\text{э}} \quad (2.19)$$

$$И_{\text{э}} = 17304600,99 \cdot 1,812 = 31355936,99 \text{ руб.}$$

Рассчитаем суммарный коэффициент отчислений:

$$P_{\text{сум}} = p_{\text{а}} + p_{\text{о,р}} \quad (2.20)$$

$$P_{\text{сум}} = 0,084;$$

Рассчитаем годовые отчисления:

$$И_{\text{о}} = P_{\text{сум}} \cdot K \quad (2.21)$$

$$И_{\text{о}} = 0,084 \cdot 83,5 \cdot 106 \cdot 3 = 21,05 \cdot 106 \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки рассчитаем по формуле:

$$И = И_{\text{о}} + И_{\text{э}} \quad (2.22)$$

$$И = 21050000 + 31355936,99 = 52405936,99 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты рассчитаем по формуле:

$$З_{\text{ПР}} = E_{\text{Н}} \cdot k + И \quad (2.23)$$

$$З_{\text{ПР}} = 0,15 \cdot 83,5 \cdot 106 \cdot 3 + 52405936,99 = 428155936,99 \text{ руб.}$$

3 Расчет токов коротких замыканий

3.1 Расчет симметричных коротких замыканий

Расчеты токов короткого замыкания производятся согласно [15,2,7].
«Данные расчеты включают в себя выбор и проверку электрооборудования и проводников, проектирование и настройку оборудования релейной защиты и автоматизации, проектирование оборудования заземления и т. д.» из [7].

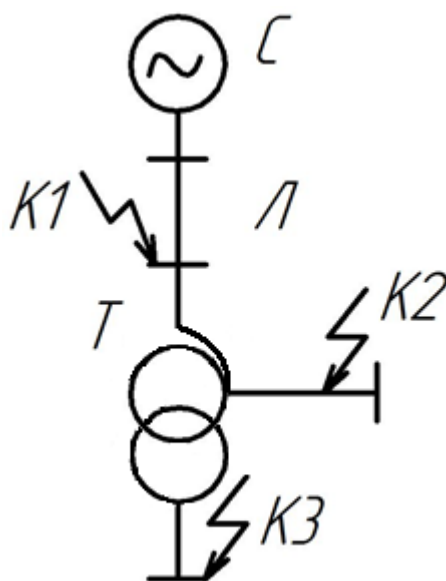


Рисунок 3 – Расчетная схема коротких замыканий.

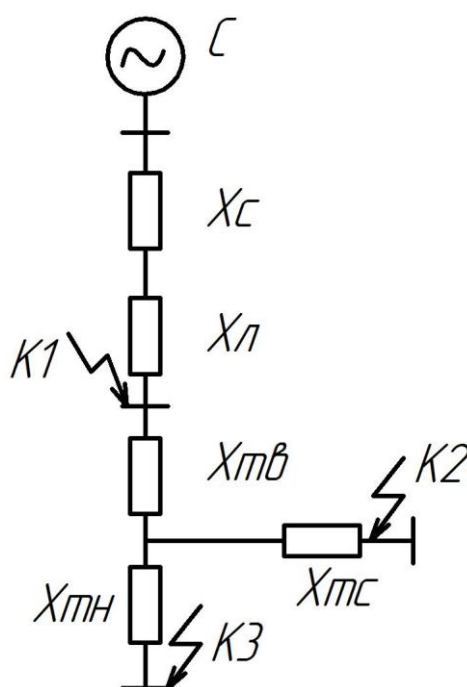


Рисунок 4 – Схема замещения.

Сопротивление данной системы рассчитаем по формуле:

$$X_{*б,с} = \frac{S_б}{S_к} \quad (3.1)$$

$$X_{*б,с} = \frac{1000}{5000} = 0,2;$$

Сопротивление высшей обмотки трансформатора рассчитаем по формуле:

$$X_{*б,ТВ} = \frac{U_{к.в}\%}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{НОМ.Т}} \quad (3.2)$$

$$X_{*б,ТВ} = \frac{12,25}{100} \cdot \frac{1000}{1251} = 0,098;$$

Сопротивление средней обмотки трансформатора рассчитаем по формуле:

$$X_{*б,Тс} = \frac{U_{к.с}\%}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{НОМ.Т}} \quad (3.3)$$

$$X_{*б,Тс} = \frac{0}{100} \cdot \frac{1000}{1251} = 0;$$

Сопротивление низшей обмотки трансформатора рассчитаем по формуле:

$$X_{*б,Тн} = \frac{U_{к.н}\%}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{НОМ.Т}} \quad (3.4)$$

$$X_{*б,Тн} = \frac{68,75}{100} \cdot \frac{1000}{1251} = 0,55;$$

Сопrotивление линии рассчитаем по формуле:

$$X_{*б,л} = X_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{cp}^2} \quad (3.5)$$

$$X_{*б,л} = 0,4 \cdot 396,7 \cdot \frac{1000}{7502} = 0,28;$$

Произведем расчёт результирующего сопротивления до точки К1:

$$X_{*рез(б)} = X_{*б,с} + X_{*б,л} \quad (3.6)$$

$$X_{*рез(б)} = 0,2 + 0,28 = 0,48;$$

Произведем расчет базисного тока по формуле:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} \quad (3.7)$$

$$I_б = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 750} = 0,77 \text{ кА.}$$

Произведем расчет начального действующего значения периодической составляющей тока к. з.:

$$I_{n,0}^3 = \frac{E_{*б}''}{X_{*рез(б)}} \cdot I_б \quad (3.8)$$

$$I_{n,0}^3 = \frac{1}{0,48} \cdot 0,77 = 1,604 \text{ кА.}$$

Произведем расчет ударного тока короткого замыкания по формуле:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0}^3 \cdot K_{уд} \quad (3.9)$$

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,604 \cdot 1,8 = 4,083 \text{ кА.}$$

Произведем расчет результирующего сопротивления до точки К2:

$$X_{*рез(б)} = X_{*б,с} + X_{*б,л} + X_{*б,Тв} + X_{*б,Тс} \quad (3.10)$$

$$X_{*рез(б)} = 0,2 + 0,28 + 0,098 + 0 = 0,578;$$

Произведем расчет базисного тока по формуле:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} \quad (3.11)$$

$$I_б = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 500} = 1,155 \text{ кА.}$$

Произведем расчет начального действующего значения периодической составляющей тока к. з.:

$$I_{н,о}^3 = \frac{E_{*б}''}{X_{*рез(б)}} \cdot I_б \quad (3.12)$$

$$I_{н,о}^3 = \frac{1}{0,48 \cdot 1,155} = 2,406 \text{ кА.}$$

Произведем расчет ударного тока короткого замыкания:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^3 \cdot K_{уд} \quad (3.13)$$

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 2,406 \cdot 1,9 = 6,465 \text{ кА.}$$

Произведем расчет результирующего сопротивления до точки К3:

$$X_{*рез(б)} = X_{*б,с} + X_{*б,л} + X_{*б,Тв} + X_{*б,Тн} \quad (3.14)$$

$$X_{*рез(б)} = 0,2 + 0,28 + 0,098 + 0,55 = 1,128;$$

Произведем расчет базисного тока по формуле:

$$I_{\phi} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}} \quad (3.15)$$
$$I_{\phi} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,986 \text{ кА.}$$

Произведем расчет начального действующего значения периодической составляющей тока к. з.:

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{*6}''}{X_{*рез(6)}} \cdot I_{\phi} \quad (3.16)$$
$$I_{n,o}^3 = \frac{1}{1,128} \cdot 54,986 = 48,75 \text{ кА.}$$

Произведем расчет ударного тока к. з. по формуле:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^3 \cdot K_{уд} \quad (3.17)$$
$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 48,75 \cdot 1,9 = 130,992 \text{ кА.}$$

3.2 Расчет несимметричных коротких замыканий

Проведем расчет к. з. однофазных, двухфазных и двухфазных на землю согласно [7,4,2].

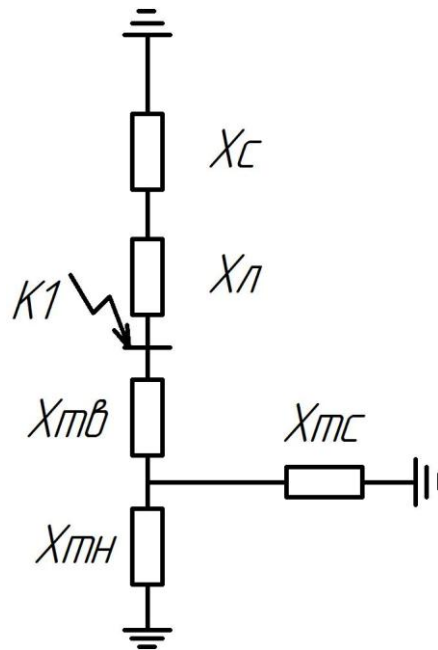


Рисунок 5 – Схема замещения нулевой последовательности.

Схема замещения прямой и обратной последовательности такая же, как на рисунке 3.

Точка К1.

Сопротивление прямой и обратной последовательности рассчитаем по формуле:

$$X_{1\Sigma}=X_{2\Sigma}= X_{*6, c} + X_{*6, л} \quad (3.17)$$
$$X_{1\Sigma}=X_{2\Sigma}=0,2+0,28=0,48;$$

Сопротивление нулевой последовательности воздушных линий намного выше, чем сопротивление прямой (обратной) последовательности.

Это сопротивление принимается таким же, как для воздушной линии с тросами.

Сопrotивление линии нулевой последовательности рассчитаем по формуле:

$$X_{*6,л} = X_{уд} \cdot 1 \cdot \frac{S_B}{U_{cp}^2} \cdot 3 \quad (3.18)$$

$$X_{*6,л} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{1000}{750^2} \cdot 3 = 0,846;$$

Произведем расчет сопротивления нулевой последовательности:

$$X_{0\Sigma} = \frac{(X_{*6,c} + X_{*6,л}) \cdot X_{*6,ТВ}}{X_{*6,c} + X_{*6,л} + X_{*6,ТВ}} \quad (3.19)$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{(0,2 + 0,846) \cdot 0,098}{0,2 + 0,846 + 0,098} = 0,090;$$

Произведем расчет однофазного к. з.:

$$I_{n,o}^1 = m \cdot \frac{E_{*6}''}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \cdot I_{\beta} \quad (3.20)$$

$$I_{n,o}^1 = 3 \cdot \frac{1}{0,48 + 0,48 + 0,090} \cdot 0,77 = 2,2 \text{ кА};$$

Произведем расчет двухфазного к. з.:

$$I_{n,o}^2 = m^{(2)} \cdot \frac{E_{*6}''}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma}} \cdot I_{\beta} \quad (3.20)$$

$$I_{n,o}^2 = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{0,48 + 0,48} \cdot 0,77 = 1,389 \text{ кА}.$$

Двухфазное к. з. на землю рассчитаем по формуле:

$$I_{n,o}^{1,1} = m^{(1,1)} \cdot \frac{E_{*6}''}{X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}} \cdot I_6 \quad (3.20)$$

$$I_{n,o}^{1,1} = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{0,48 + \frac{0,48 \cdot 0,090}{0,48 + 0,090}} \cdot 0,77 = 0,742 \text{ кА.}$$

Ударные токи соответствующих к. з. рассчитаем по формуле:

$$I_{уд}^1 = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^1 \cdot K_{уд} \quad (3.21)$$

$$I_{уд}^1 = \sqrt{2} \cdot 2,2 \cdot 1,8 = 5,6 \text{ кА;}$$

$$I_{уд}^2 = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^2 \cdot K_{уд} \quad (3.22)$$

$$I_{уд}^2 = \sqrt{2} \cdot 1,389 \cdot 1,8 = 3,54 \text{ кА;}$$

$$I_{уд}^{1,1} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^{1,1} \cdot K_{уд} \quad (3.23)$$

$$I_{уд}^{1,1} = \sqrt{2} \cdot 0,742 \cdot 1,8 = 1,89 \text{ кА;}$$

Точка К2.

Сопротивление прямой и обратной последовательности рассчитаем по формуле:

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = X_{*6, c} + X_{*6, л} + X_{*6, Тв} + X_{*6, Тс} \quad (3.24)$$

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 0,2 + 0,846 + 0,098 + 0 = 1,144;$$

Двухфазное к. з. рассчитаем по формуле:

$$I_{n,o}^2 = m^{(2)} \cdot \frac{E_{*6}''}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma}} \cdot I_6 \quad (3.25)$$

$$I_{n,o}^2 = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{1,144 + 1,14} \cdot 1,155 = 0,874 \text{ кА.}$$

Ударный ток рассчитаем по формуле:

$$I_{уд}^2 = \bar{2} \cdot I_{н,о}^2 \cdot K_{уд} \quad (3.26)$$
$$I_{уд}^2 = \bar{2} \cdot 0,874 \cdot 1,8 = 2,225 \text{ кА.}$$

Точка КЗ.

Сопротивление прямой и обратной последовательности рассчитаем по формуле:

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = X_{*б, с} + X_{*б, л} + X_{*б, Тв} + X_{*б, Тн} \quad (3.27)$$
$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 0,2 + 0,846 + 0,098 + 0,55 = 1,694;$$

Двухфазное к. з. рассчитаем по формуле:

$$I_{н,о}^2 = m^{(2)} \cdot \frac{E_{*б}''}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma}} \cdot I_b \quad (3.28)$$
$$I_{н,о}^2 = \bar{3} \cdot \frac{1}{1,694 + 1,694} \cdot 37,248 = 19,042 \text{ кА.}$$

Ударный ток рассчитаем по формуле:

$$I_{уд}^2 = \bar{2} \cdot I_{н,о}^2 \cdot K_{уд} \quad (3.29)$$
$$I_{уд}^2 = \bar{2} \cdot 19,042 \cdot 1,8 = 48,473 \text{ кА.}$$

По результатам расчетов было выявлено, что к. з. являются самыми опасными.

4 Выбор электрических аппаратов и проводников

В соответствии с [13] «Выбор аппаратов и проводников для проектируемой установки начинается с определением по заданной электрической схеме расчетных условий, а именно: расчетных рабочих токов присоединений и токов к. з.

Расчетные величины сопоставляются с соответствующими номинальными параметрами аппаратов, выбираемых по каталогам и справочникам».

4.1 Выбор выключателей

Выбор высоковольтных выключателей на стороне ВН, СН и НН производится согласно методике [7] и нормам [2] из справочника [13].

На стороне ВН:

Произведем расчет токов продолжительного режима с учетом 40% перегрузки:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{T,\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4.1)$$

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{1251000}{\sqrt{3} \cdot 750} = 1348,228 \text{ А.}$$

Произведем расчет термической стойкости с продолжительностью к. з. $t_{\text{откл}}=0,2$ по формуле:

$$B_k = I_{n,0}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) \quad (4.2)$$

$$B_k = 1,604^2 \cdot (0,2 + 0,05) = 0,643 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Пользуясь справочным материалом [13] выбираем выключатель НРЛ800В4.

Произведем расчет максимального значения апериодической составляющей тока к. з. для $\tau = 0,01 + t_{c.B} = 0,01 + 0,04 = 0,05\text{с}$ по формуле:

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0}^3 \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} \quad (4.3)$$

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 2,406 \cdot e^{\frac{-0,05}{0,05}} = 0,834 \text{ кА.}$$

В таблицу 3 сведем рассчитанные величины и сравним их с каталожными данными.

Таблица 3 – Сравнение рассчитанных и каталожных данных выключателя.

Выключатель HPL800B4	
Расчетные величины	Каталожные величины
$U_{\text{НОМ}} = 750\text{кВ}$	$U_{\text{сет.НОМ}} = 750\text{кВ}$
$I_{\text{max}} = 1348,228\text{А}$	$I_{\text{НОМ}} = 4000\text{А}$
$I_{\text{п.о}}^{(3)} = 1,604\text{кА}$	$I_{\text{откл.НОМ}} = 50\text{кА}$
$I_{a,\tau} = 0,834\text{кА}$	$I_{a,\text{НОМ}} = \sqrt{2} \cdot \frac{B_{\text{НОР}}}{100} \cdot I_{\text{откл.НОМ}} =$ $= \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 50 = 28,28\text{кА.}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о}}^3 + I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 1,604 + 0,458 =$ $= 2,726\text{кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.НОМ}} \cdot \left(1 + \frac{B_{\text{НОР}}}{100}\right) =$ $= \sqrt{2} \cdot 50 \cdot 1,4 = 98,99\text{кА.}$
$I_{\text{п.о}} = 1,604\text{кА}$	$I_{\text{прс}} = 50\text{кА}$
$i_{\text{уд}} = 4,083\text{кА}$	$i_{\text{прс}} = 125\text{кА}$
$B_{\text{к}} = 0,643\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2 \cdot t_{\text{откл}} = 50^2 \cdot 0,2 = 500\text{кА}^2 \cdot \text{с.}$

Выбранный выключатель подходит по всем необходимым параметрам.

На стороне СН:

Произведем расчет токов продолжительного режима с учетом 40% перегрузки:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{T,\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4.4)$$

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{1251000}{\sqrt{3} \cdot 500} = 606,703 \text{ А.}$$

Произведем расчет термической стойкости с продолжительностью к. з. $t_{\text{откл}} = 0,2\text{с}$ рассчитаем по формуле:

$$W_k = I_{n,0}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) \quad (4.5)$$

$$W_k = 2,406^2 \cdot (0,2 + 0,05) = 1,447 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Пользуясь справочным материалом [13] выбираем ВГП-500.

Произведем расчет максимального значения аperiodической составляющей тока к. з. для $\tau = 0,01 + t_{c,B} = 0,01 + 0,04 = 0,05\text{с}$:

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n,0}^3 \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} \quad (4.6)$$

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 2,406 \cdot e^{\frac{-0,05}{0,05}} = 1,252 \text{ кА.}$$

В таблицу 4 сведем рассчитанные величины и сравним их с каталожными данными.

Таблица 4 – Сравнение рассчитанных и каталожных данных выключателя.

Выключатель ВГП-500	
Расчетные величины	Каталожные величины
$U_{\text{НОМ}} = 500\text{кВ}$	$U_{\text{сет.НОМ}} = 500\text{кВ}$
$I_{\text{max}} = 606,703\text{А}$	$I_{\text{НОМ}} = 3150\text{А}$
$I_{\text{п.о}}^{(3)} = 2,406\text{кА}$	$I_{\text{откл.НОМ}} = 40\text{кА}$
$i_{\alpha,\tau} = 1,252\text{кА}$	$I_{\text{а.НОМ}} = \sqrt{2} \cdot \frac{V_{\text{НОР}}}{100} \cdot I_{\text{откл.НОМ}} =$ $= \sqrt{2} \cdot \frac{30}{100} \cdot 40 = 16,97\text{кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о}}^3 + i_{\alpha,\tau} = \sqrt{2} \cdot$ $2,406 + 1,252 = 4,655\text{кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{\text{откл.НОМ}} \cdot 1 + \frac{V_{\text{НОР}}}{100} =$ $= \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 1,3 = 73,54\text{кА}$
$I_{\text{п.о}} = 2,406\text{кА}$	$I_{\text{прс}} = 40\text{кА}$
$i_{\text{уд}} = 6,465\text{кА}$	$i_{\text{прс}} = 100\text{кА}$
$W_{\text{к}} = 1,447\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2 \cdot t_{\text{откл}} = 40^2 \cdot 0,2 = 320\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

Выбранный выключатель подходит по всем необходимым параметрам.

На стороне НН:

Произведем расчет токов продолжительного режима с учетом 40% перегрузки:

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{T.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4.7)$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{38781}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2985,363 \text{ А.}$$

Произведем расчет термической стойкости с продолжительностью к. з. $t_{откл} = 0,2с$ по формуле:

$$W_k = I_{н,о}^3 \cdot (t_{откл} + T_a) \quad (4.8)$$

$$W_k = 48,75^2 \cdot (0,2 + 0,05) = 594,14 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Пользуясь справочным материалом [13] выбираем ВВГ-10.

Произведем расчет максимального значения апериодической составляющей тока к. з. для $\tau = 0,01 + t_{с.в} = 0,01 + 0,15 = 0,25с$ по формуле:

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о}^3 \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} \quad (4.9)$$

$$I_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 48,75 \cdot e^{\frac{-0,25}{0,12}} = 8,584 \text{ кА}.$$

В таблицу 5 сведем каталожные и расчетные величины.

Таблица 5 –Сравнение расчетных и каталожных данных.

Выключатель ВВГ-10	
Расчетные величины	Каталожные величины
$U_{ном} = 10,5кВ$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 2985,363А$	$I_{ном} = 5000А$
$I_{п.о}^{(3)} = 48,75 \text{ кА}$	$I_{откл.ном} = 90кА$
$i_{a,\tau} = 8,584 \text{ кА}$	$I_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{U_{ном}}{100} \cdot I_{откл.ном} =$ $= \sqrt{2} \cdot \frac{20}{100} \cdot 90 = 25,46кА.$

Продолжение таблицы 5

$\bar{2} \cdot I_{п.о}^3 + i_{\alpha,\tau} = \bar{2} \cdot 48,75 +$ $+5,814 = 77,53 \text{ кА}$	$= \bar{2} \cdot 90 \cdot 1,2 = 152,74 \text{кА.}$
$I_{п,о} = 48,75 \text{ кА}$	$I_{прс} = 50 \text{ кА}$
$i_{уд} = 88,725 \text{кА}$	$i_{прс} = 90 \text{кА}$
$B_k = 594,14 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2 \cdot t_{откл} = 90^2 \cdot 0,2 = 1620 \text{кА}^2 \cdot \text{с.}$

Выбранный выключатель подходит по всем необходимым параметрам.

4.2 Выбор разъединителя

На стороне ВН согласно методике [7] выбираем разъединитель с двумя заземляющими ножами типа РГПД-750-2/1000 из [13].

Таблица 6 – Сравнение расчетных и каталожных данных разъединителя.

Разъединитель РГПД-750-2/1000	
Расчетные величины	Каталожные величины
$U_{ном} = 750 \text{кВ}$	$U_{сет.ном} = 750 \text{кВ}$
$I_{max} = 1348,228 \text{А}$	$I_{ном} = 3200 \text{А}$
$I_{п.о}^{(3)} = 1,604 \text{кА}$	$I_{откл.ном} = 31,5 \text{кА}$
$i_{уд} = 4,083$	$I_{прс} = 31,5 \text{кА}$
$B_k = 0,643 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$I^2 \cdot t_{откл} = 31,5^2 \cdot 0,2 = 198,45 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$

Выбранный разъединитель подходит по всем необходимым условиям.

4.3 Выбор трансформаторов тока

По методике, представленной в [7] произведем выбор трансформаторов тока.

На стороне ВН:

Расчетный ток продолжительного режима рассчитаем по формуле:

$$I_{\max} = \frac{S_{T.\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4.10)$$
$$I_{\max} = \frac{1251000}{\sqrt{3} \cdot 750} = 963,020 \text{ А.}$$

Выбираем трансформатор тока типа ТФРМ 750А

Все рассчитанные и каталожные величины сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Сравнение расчетных и каталожных величин.

Трансформатор тока ТФРМ 750А	
Расчетные величины	Каталожные величины
$U_{\text{НОМ}} = 750\text{кВ}$	$U_{\text{сет.НОМ}} = 750\text{кВ}$
$I_{\max} = 963,020 \text{ А}$	$I_{1\text{НОМ}} = 1000\text{А}$
$i_{\text{уд}} = 4,083\text{кА}$	$I_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 0,643\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$K_{\text{T}}^2 \cdot I_{1\text{НОМ}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 20^2 \cdot 0,4^2 \cdot 3 =$ $= 192 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 8 – Вторичная нагрузка трансформатора тока.

Прибор	Тип	Нагрузка В·А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	А – 0,5	0,5	0,5	0,5
Ваттметр	СР 3021-5	7,5	7,5	7,5
Итого		8	8	8

Общее сопротивление приборов фаз рассчитаем по формуле:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{T_2^2} \quad (4.11)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{8}{52} = 0,32 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет сопротивления проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} \quad (4.12)$$

$$R_{\text{пр}} = 1,2 - 0,32 - 0,1 = 0,78 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет сечения провода:

$$s = \rho \cdot \frac{I_{\text{р}}}{R_{\text{пр}}} \quad (4.13)$$

$$s = 0,027 \cdot \frac{65}{0,78} = 2,25 \text{ мм}^2$$

Принимаем стандартное сечение 4 мм² для алюминиевого провода.

На стороне СН:

Расчетный ток продолжительного режима рассчитаем по формуле:

$$I_{\max} = \frac{S_{T.\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (4.14)$$

$$I_{\max} = \frac{1251000}{\sqrt{3} \cdot 500} = 1444,530 \text{ А.}$$

Выбираем трансформатор тока типа ТФРМ-500Б и сведем расчетные и каталожные величины в таблицу 9.

Таблица 9 – Сравнение расчетных и каталожных величин.

Трансформатор тока ТФРМ-500Б	
Расчетные величины	Каталожные величины
$U_{\text{ном}} = 500\text{кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 500\text{кВ}$
$I_{\max} = 1444,530 \text{ А}$	$I_{1\text{ном}} = 1500\text{А}$
$i_{\text{уд}} = 6,465\text{кА}$	$I_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$
$B_k = 1,447\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$K_T^2 \cdot I_{1\text{ном}}^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 0,4^2 \cdot 1 =$ $= 64 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 10 – Вторичная нагрузка трансформатора тока.

Прибор	Тип	Нагрузка В·А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	А – 0,5	0,5	-	0,5
Ваттметр	СР 3021 – 5	7,5	-	7,5
Варметр	ЦП8506/11	5,5	-	5,5

Продолжение таблицы 10

Счетчики активной и реактивной энергии	230 ART	0,1	-	0,1
Итого		13,6	-	13,6

Произведем расчет общего сопротивления приборов фаз по формуле:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{T_2^2} \quad (4.15)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{13,6}{52} = 0,54 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет сопротивления проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} \quad (4.16)$$

$$R_{\text{пр}} = 1,2 - 0,54 - 0,1 = 0,56 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет сечения провода:

$$s = \rho \cdot \frac{l_{\text{п}}}{R_{\text{пр}}} \quad (4.17)$$

$$s = 0,0175 \cdot \frac{40}{0,56} = 1,25 \text{ мм}^2$$

Принимаем стандартное сечение 2,5 мм² для медного провода.

На стороне НН:

Расчетный ток продолжительного режима рассчитаем по формуле:

$$I_{\max} = \frac{S_{T.\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4.18)$$

$$I_{\max} = \frac{38781}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2132,40 \text{ А.}$$

Выбираем трансформатор тока типа ТПОЛ – 10

Все рассчитанные и каталожные величины сводим в таблицу 11.

Таблица 11 – Сравнение расчетных и каталожных величин.

Трансформатор тока ТПОЛ - 10	
Расчетные величины	Каталожные величины
$U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.НОМ}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 2132,40 \text{ А}$	$I_{1\text{НОМ}} = 2500 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 88,725 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 90 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 594,14 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$K_{\text{T}}^2 \cdot I_{1\text{НОМ}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 15,25^2 \cdot 3^2 \cdot 1 =$ $= 2093,06 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 12 – Вторичная нагрузка трансформатора тока.

Прибор	Тип	Нагрузка В·А, фазы		
		А	В	С
Амперметр	А - 0,5	0,5	-	0,5

Продолжение таблицы 12

Ваттметр	СР 3021 – 5	7,5	-	7,5
Варметр	ЦП8506/11	5,5	-	5,5
Счетчики активной и реактивной энергии	230 ART	0,1	-	0,1
Итого		13,6	-	13,6

Произведем расчет общего сопротивления приборов фаз по формуле:

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{T_2^2} \quad (4.19)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{13,6}{52} / = 0,54 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет сопротивления проводов:

$$R_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} \quad (4.20)$$

$$R_{\text{пр}} = 1,2 - 0,54 - 0,1 = 0,56 \text{ Ом.}$$

Произведем расчет сечения провода:

$$s = \rho \cdot \frac{l_{\text{п}}}{R_{\text{пр}}} \quad (4.21)$$

$$s = 0,0175 \cdot \frac{40}{0,56} / = 1,25 \text{ мм}^2$$

Принимаем стандартное сечение 2,5 мм² для медного провода.

4.4 Выбор трансформаторов напряжения

Выбор трансформаторов напряжения производится согласно методике, представленной в [7] и нормам [2].

На стороне ВН:

Для стороны 750 кВ рекомендуется применять каскадные трансформаторы напряжения. Выбираем ТН типа НДЕ-750-72-У1. В таблицу 13 сведем расчетные нагрузки.

Таблица 13 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения.

Приборы	Тип прибора	Число приборов	Потребляемая мощность, ВА
Ваттметр	СР 3021 – 5	2	15
Варметр	ЦП8506/11	2	11
Итого			26

Трансформатор в классе точности 0,5 имеет номинальную мощность 300 ВА. Таким образом, данный ТН подходит по всем необходимым параметрам.

На стороне СН:

Для стороны 500 кВ выбираем трансформатор типа НДЕ-500-72-У1. В таблицу 14 сведем расчетные нагрузки.

Таблица 14 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения.

Приборы	Тип прибора	Число приборов	Потребляемая мощность, ВА
Вольтметр	Э – 335	1	2
Ваттметр	СР 3021 – 5	1	7,5
Варметр	ЦП8506/11	1	5,5
Счетчики активной и реактивной энергии	230 ART	2	0,2
Итого			15,2

Трансформатор в классе точности 0,5 имеет номинальную мощность 300 ВА. Таким образом, данный ТН подходит по всем необходимым параметрам.

На стороне НН:

Для стороны 10,5 кВ выбираем трансформатор типа НТМИ-10. В таблицу 15 сведем расчетные нагрузки.

Таблица 15 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения.

Приборы	Тип прибора	Число приборов	Потребляемая мощность, ВА
Вольтметр	Э – 335	1	2

Продолжение таблицы 15

Ваттметр	СР 3021 – 5	1	7,5
Варметр	ЦП8506/11	1	5,5
Счетчики активной и реактивной энергии	230 ART	4	0,4
Итого			15,4

Трансформатор в классе точности 0,5 имеет номинальную мощность 120 ВА. Таким образом, данный ТН подходит по всем параметрам.

4.5 Выбор гибких шин

Выбор гибких шин произведем по методике [7], нормам [2] и справочному материалу [13].

На стороне 750 и 500 кВ шины выполняются гибкими проводами.

Произведем выбор гибких шин на стороне 750 кВ.

Расчетный ток продолжительного режима рассчитаем по формуле:

$$I_{\max} = \frac{S_{T,\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4.22)$$

$$I_{\max} = \frac{1251000}{\sqrt{3} \cdot 750} = 963,020 \text{ А.}$$

Произведем выбор сечения по экономической плотности тока $j_э = 1 \text{ А/мм}^2$ производим по формуле:

$$s = \frac{I_{\max}}{j_э} \quad (4.23)$$
$$s = \frac{963,02}{1} = 963,02 \text{ мм}^2$$

Выбираем провод АС 1000/43,2, $I_{\text{доп}} = 1587 \text{ А}$.

Проверку провода по длительно допустимому току проводим согласно формуле:

$$I_{\max} \leq I_{\text{дл.доп}} \quad (4.24)$$
$$963,02 \leq 1587 \text{ А.}$$

Согласно [3] «Проверка по условиям коронирования необходима при напряжении 35 кВ и выше».

Произведем расчет начальной критической напряженности электрического поля по формуле:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,299}{r_0}\right) \quad (4.25)$$
$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left(1 + \frac{0,299}{21,025}\right) = 26,47 \text{ кВ/см.}$$

Произведем расчет напряженности электрического поля около провода по формуле:

$$E = 0,354 \cdot \frac{U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{\text{ср.г}}}{r_0}} \quad (4.26)$$

$$E = 0,354 \cdot \frac{750}{(r_0 \cdot \lg(1,26 \cdot \frac{100}{21,025}))} = 15,83 \text{ кВ/см.}$$

Произведем проверку по условию отсутствия короны:

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 E_0 \quad (4.27)$$

$$1,07 \cdot 15,83 = 16,94 \leq 0,9 \cdot 26,47 = 23,82$$

Таким образом, провод АС 1000/43,2 коронировать не будет.

Произведем выбор гибких шин на стороне 500 кВ.

Расчетный ток продолжительного режима рассчитаем по формуле:

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{T.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4.28)$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1251000}{\sqrt{3} \cdot 500} = 1444,53 \text{ А.}$$

Произведем выбор сечения по экономической плотности тока $j_э = 1 \text{ А/мм}^2$ по формуле:

$$s = \frac{I_{\text{max}}}{j_э} \quad (4.29)$$

$$s = \frac{1444,53}{1} = 1444,53 \text{ мм}^2$$

Выбираем провод АС 1000/43,2, $I_{\text{доп}} = 1587 \text{ А.}$

Проверку провода по длительно допустимому току проводим согласно формуле:

$$I_{\max} \leq I_{\text{дл.доп}} \quad (4.30)$$

$$1444,53 \leq 1587 \text{ А.}$$

Согласно [3] «Проверка по условиям коронирования необходима при напряжении 35 кВ и выше».

Произведем расчет начальной критической напряженности электрического поля по формуле:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,299}{r_0}\right) \quad (4.31)$$

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left(1 + \frac{0,299}{21,025}\right) = 26,47 \text{ кВ/см}$$

Произведем расчет напряженности электрического поля около провода по формуле:

$$E = 0,354 \cdot \frac{U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{\text{ср.г}}}{r_0}} \quad (4.32)$$

$$E = 0,354 \cdot \frac{500}{r_0 \cdot \lg \frac{100}{21,025}} = 10,55 \text{ кВ/см.}$$

Произведем проверку по условию отсутствия короны:

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 E_0 \quad (4.33)$$

$$1,07 \cdot 10,55 = 11,29 \leq 0,9 \cdot 26,47 = 23,82$$

Таким образом, провод АС 1000/43,2 коронировать не будет.

4.6 Выбор жестких шин и изоляторов

На стороне низкого напряжения ошиновку выполняем жесткими шинами согласно [7].

На стороне НН:

Произведем расчет токов продолжительных режимов по формуле:

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{T,\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (4.34)$$
$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{38781}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2985,363 \text{ А.}$$

Произведем расчет сечения алюминиевых шин по экономической плотности тока по формуле:

$$s = \frac{I_{\max}}{j_{\text{э}}} \quad (4.35)$$
$$s = \frac{2985,363}{1} = 2985,363 \text{ мм}^2$$

В данном случае для ошиновки будем использовать шины с прямоугольным сечением 180x20 мм² с $I_{\text{доп}} = 3050 \text{ А}$.

Для работы в продолжительном режиме шины должны соответствовать условиям нагрева:

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}} \quad (4.36)$$
$$I_{\max} = 2985,363 \text{ А} \leq I_{\text{доп}} = 3050 \text{ А.}$$

Произведем расчет минимального сечения по условию термической стойкости по формуле:

$$s_{\min} = \frac{\overline{B}_k}{C_T} \quad (4.37)$$
$$s_{\min} = \frac{\overline{594,14}}{90} = 270,83 \text{ мм}^2$$

Шины соответствуют термической стойкости, т.к.:

$$s_{\min} \leq s \quad (4.38)$$
$$270,83 \text{ мм}^2 \leq 3600 \text{ мм}^2$$

Произведем расчет момента инерции поперечного сечения шины:

$$J = \frac{bh^3}{12} \quad (4.39)$$
$$J = \frac{2 \cdot 18^3}{12} = 972 \text{ см}^4 = 972 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

Произведем расчет массы шины на единицу длины:

$$m = 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 2 \cdot 100 = 9,72 \text{ кг/м} \quad (4.40)$$

Рассчитаем частоту собственных колебаний шины по формуле:

$$f_0 = \frac{r_2^1}{2\pi l} \cdot \frac{\bar{EJ}}{m} \quad (4.41)$$

$$f_0 = \frac{4,732}{2 \cdot 3,14 \cdot 22} \cdot \frac{7 \cdot 10^{10} \cdot 972 \cdot 10^{-8}}{9,72} = 235,52 \text{ Гц.}$$

Проведем проверку шин на электродинамическую стойкость.

Момент сопротивления поперечного сечения шины определим по формуле:

$$W = \frac{bh^3}{6} \quad (4.42)$$

$$W = \frac{2 \cdot 18^3}{6} = 108 \text{ см}^3 = 108 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Напряженность в материале шин при взаимодействии фаз рассчитаем по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{\bar{3} \cdot 10^{-7} \cdot i_{\text{из}}^2 \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot K_{\phi} \cdot K_{\text{расп}}}{\lambda \cdot W \cdot a} \quad (4.43)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\bar{3} \cdot 10^{-7} \cdot 22 \cdot 648292 \cdot 1 \cdot 1}{12 \cdot 100^{-6} \cdot 0,8} = 3,03 \text{ МПа.}$$

Шины механически прочны, т. к.:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}} \quad (4.44)$$

$$3,03 \text{ МПа} \leq 89 \text{ МПа}$$

Из справочного материала был выбран опорный изолятор типа ИОР-10-10 с $H_{из} = 134$ мм.

Рассчитаем максимальную нагрузку на изолятор по формуле:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot k_{\phi} \cdot k_{расп} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7} \quad (4.45)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{646542}{0,8} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 1810,05 \text{ Н.}$$

Проверим изолятор по условию электродинамической стойкости:

$$F_{доп} = 0,6 \cdot F_{разр} \cdot \frac{H_{из}}{H} \quad (4.46)$$

$$F_{доп} = 0,6 \cdot 10000 \cdot \frac{0,134}{0,134+0,02+0,09} = 3295,08 \text{ Н.}$$

$$F_{расч} \leq F_{доп} \quad (4.47)$$

$$1810,05 \text{ Н} \leq 3295,08 \text{ Н.}$$

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что данный изолятор подходит по всем параметрам.

Выбираем проходной изолятор типа ИП-10/6300-20 УХЛ2 с $U_{ном} = 10$ кВ, $I_{max} = 3000 \text{ А} \leq I_{ном} = 6300 \text{ А}$, $F_{разр} = 20 \text{ кН}$.

Произведем проверку изолятора на электродинамическую стойкость по формуле:

$$F_{расч} = 0,5 \cdot \frac{i_{уд}^2}{a} \cdot l_{из} \cdot 10^{-7} \quad (4.48)$$

$$F_{расч} = 0,5 \cdot \frac{646542}{0,8} \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 522,52 \text{ Н.}$$

Проверим изолятор по условию электродинамической стойкости:

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{расч}} \quad (4.49)$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 20000 = 12000 \text{ Н.}$$

$$F_{\text{расч}} \leq F_{\text{доп}} \quad (4.50)$$

$$522,52 \text{ Н} \leq 12000 \text{ Н.}$$

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что данный изолятор подходит по всем параметрам.

5 Расчет заземления подстанции

«Заземляющее устройство для установок 110 кВ и выше необходимо выполнять заземляющей сеткой с переменным шагом, состоящей из вертикальных заземлителей, соединительных полос, выравнивающих полос, проложенных в поперечном направлении и создающих, а так же полос, расположенных вдоль рядов оборудования» согласно [7,2].

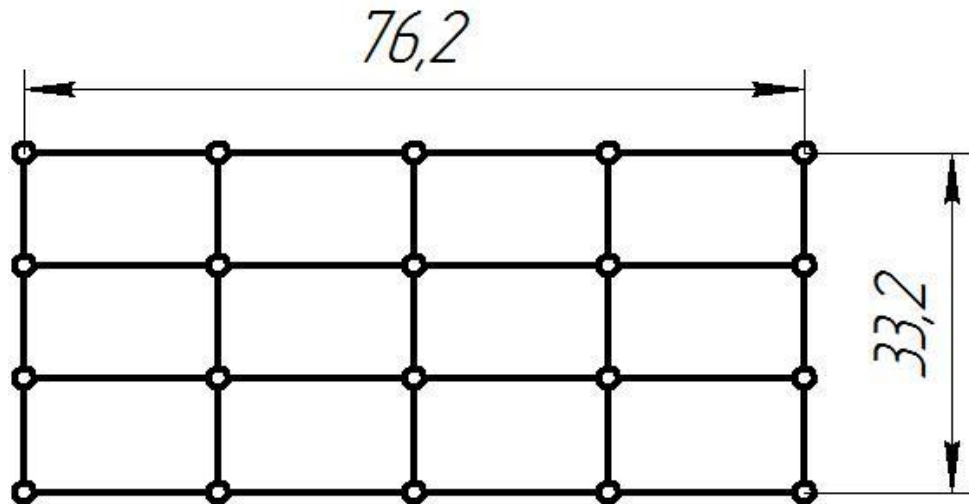


Рисунок 6 – Схема заземлителя

Согласно [7] для $\tau = 0,25$ соответствует $U_{пр. доп} = 400$ В

Произведем расчет коэффициента $K_{П}$ для сложных заземлителей из горизонтальных и вертикальных проводников:

$$K_{П} = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_{в}L_{г}}{a \cdot S}\right)^{0,45}} \quad (5.1)$$

$$K_{П} = \frac{0,5 \cdot 0,49}{\left(\frac{5 \cdot 504}{19 \cdot 33,2 \cdot 76,2}\right)^{0,45}} = 0,158$$

« где: $M = 0,5$ параметр, зависящий от $\frac{\rho_1}{\rho_2}$, т. к. в нашем случае грунт

является однородным, то данное отношение принимаем равным 1, $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1$,

$l_B = 5$ м – длина вертикального заземлителя;
 $L_r = 503$ м – длина горизонтальных заземлителей;
 $a = 5$ м – расстояние между вертикальными заземлителями;
 $S = 2529,84$ м² – площадь заземляющего устройства» [7].

Произведем расчет коэффициента по сопротивлению тела человека R_q и сопротивлению растекания тока от ступней R_c :

$$B = \frac{R_q}{R_q + R_c} \quad (5.2)$$

$$B = 1000 / (1000 + 1,5 \cdot 1500) = 0,3$$

«где: $R_q = 1000$ Ом, а $R_c = 1,5 \cdot \rho_{в.с}$, $\rho_{в.с}$ – удельное сопротивление верхнего слоя грунта, в данном случае это песок, поэтому $\rho_{в.с} = 1500$ Ом·м» из [7].

$$U_3 = \frac{U_{пр.доп}}{КП} \quad (5.3)$$

$$U_3 = \frac{400}{0,158} = 2531,65 \text{ В.}$$

U_3 в пределах допустимых норм т.к. ниже 10 кВ

Произведем расчет сопротивления заземляющего устройства по формуле:

$$R_{з.доп} = \frac{U_3}{I_3} \quad (5.4)$$

$$R_{з.доп} = \frac{2531,65}{2200} = 1,15 \text{ Ом.}$$

«где: I_3 – ток однофазного короткого замыкания» из [7], рассчитанный в пункте 3.2

Расчётная модель заземлителя представляет собой квадрат со стороной:

$$\bar{S} = \sqrt{(33,2 \cdot 76,2)} = 50,3 \text{ м.}$$

Рассчитаем число ячеек по стороне квадрата:

$$m = \frac{L_r}{2 \cdot \bar{S}} - 1 \quad (5.5)$$

$$m = \frac{503}{2 \cdot 50,3} - 1 = 4$$

Произведем расчет длины полос в расчетной модели по формуле:

$$L_r = 2 \cdot \bar{S} \cdot (m + 1) \quad (5.6)$$

$$L_r = 2 \cdot 50,3 \cdot (4 + 1) = 503$$

Длина сторон ячейки:

$$b = \frac{\bar{S}}{m} \quad (5.7)$$

$$b = \frac{50,3}{4} = 12,6$$

Вертикальные электроды, расположенные по периметру заземляющего устройства проявляют заземление наилучшим образом.

Произведем расчет числа вертикальных заземлителей по периметру контура, при условии $a/l_B = 1$ по формуле:

$$n_B = \frac{\bar{S} \cdot 4}{1 \cdot l_B} \quad (5.8)$$

$$n_B = \frac{50,3 \cdot 4}{5} = 40,24$$

Принимаем $n_B = 40$

Таким образом общую длину вертикальных заземлителей рассчитаем по формуле:

$$L_B = l_B \cdot n_B \quad (5.9)$$
$$L_B = 5 \cdot 40 = 200 \text{ м.}$$

Произведем расчет относительной глубины погружения вертикальных электродов по формуле:

$$\frac{l_B+t}{S} < 0,1 \quad (5.10)$$
$$\frac{5+0,7}{50,3} = 0,11 > 0,1$$

Тогда:

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_B+t}{S} \quad (5.11)$$
$$A = 0,385 - 0,25 \cdot 0,11 = 0,358$$

При относительном эквивалентном удельном сопротивлении для сеток с вертикальным заземлителем $\rho_3 = 1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, то рассчитаем R_3 по формуле:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{S} + \frac{\rho_3}{L_T+L_B} \quad (5.12)$$
$$R_3 = 0,358 \cdot \frac{1}{50,3} + \frac{1}{503+200} = 8,52 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Полученное значение меньше $R_{3,\text{доп}} = 0,5 \text{ Ом}$, как и должно быть.

Напряжение прикосновения рассчитаем по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \text{КП} \cdot I_3 \cdot R_3 \quad (5.13)$$

$$U_{\text{пр}} = 0,158 \cdot 2200 \cdot 8,52 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ В.}$$

Т.к. значение $U_{\text{пр}}$ меньше допустимого значения 400 В делаем вывод, что в использовании дополнительных естественных заземлителей нет необходимости.

6 Молниезащита подстанции

Молниезащита необходима для защиты здания и аппаратуры понизительной трансформаторной подстанции от прямых ударов молнии. Она организуется посредством молниеотводов, заземлителей и проводников, соединяющих молниеотвод с землей.

Молниезащиту подстанции будем выполнять по методике [7] и нормам [2] с помощью отдельно стоящих молниеотводов СМ-30 высотой 30 метров.

Надежность защиты принимаем равной 0,99, тогда:

$$h_0 = 0,8 \cdot h = 24 \text{ м.} \quad (6.1)$$

$$r_0 = 0,8 \cdot h = 24 \text{ м.} \quad (6.2)$$

Рассчитаем зону защиты молниеотводов при условии высоты защищаемых объектов $h_x=12,7$ м. (трансформатор):

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0} \quad (6.3)$$

$$r_x = \frac{24 \cdot (24 - 12,7)}{24} = 11,3 \text{ м.}$$

Таким образом, на основании произведенных расчетов высота молниеотвода (при $h_0 \geq h_x$) и радиус зоны защиты r_x позволяют уберечь силовые трансформаторы от попаданий молнии. Соответственно можно сделать вывод, что данный молниеотвод подходит по всем параметрам если устанавливать рассматриваемый молниеотвод на каждый из силовых трансформаторов.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были рассчитаны ожидаемые электрические нагрузки, затем выбраны тип, число и мощность трансформаторов. По результатам расчетов был сделан вывод, что установленные группы из силовых трехобмоточных трансформаторов АОДТЦН – 417000/750/500 в замене не нуждаются. Далее были рассчитаны токи к. з. и оказалось, что симметричные короткие замыкания опаснее несимметричных. После были выбраны высоковольтные выключатели, разъединитель, трансформаторы тока и напряжения, гибкие шины, жесткие шины и изоляторы. В конце были составлены электрическая схема подстанции до и после реконструкции на формате А1. Таким образом была проведена реконструкция понизительной подстанции «Владимирская» в классе напряжения 750 кВ. Итогом реконструкции является обновление высоковольтных аппаратов, что в свою очередь увеличит надежность подстанции и безопасность для обслуживающего персонала.

Список используемой литературы и источников

1 ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов [Текст] . – Введ. 01.01.2002. – [Б.м.] : [Б.и.], 2002. – 76 с.

2 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) [Текст] : СТО 5694700729.240.10.028-2009 : утв. приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 16.06.2006 №187 в ред. приказа ПАО «ФСК ЕЭС» от 13.04.2009 № 136 : введ. в действие с 13.04.2009. – [Б.м.] : [б.и.], 2009. - 96 с.

3 Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2007 г. [Текст] : / 7-е изд., перераб. и доп.– М. : КНОРУС, 2007. – 488 с.

4 Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чирикова. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2012. - 448 с.

5 Салтыкова О.А., Вахнина В.В., Самолина О.В. Релейная защита понизительной трансформаторной подстанции [Текст] : учебное пособие для курсового и дипломного проектирования / О.А. Салтыкова, В.В. Вахнина, О.В. Самолниа. – Тольятти : ТГУ, 2007. -47 с.

6 Сенько В.В Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения [текст] : учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы / В.В. Сенько. – Тольятти : [б.м.], 2007. – 60 с.

7 Степкина Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции [Текст] : учебно-методическое пособие / Ю.В. Степкина, В.М. Салтыков. – Тольятти : ТГУ, 2007. -124 с

- 8 Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети [Текст] : учебное пособие / В.Я. Ушаков. – Москва : Юрайт, 2016. – 448 с
- 9 Варварин В. К. Выбор и наладка электрооборудования, Справочное пособие, М., 2006.
- 10 Веников В.А., Веников, Г.В. Теория подобия и моделирования. Применительно к задачам электроэнергетики [Текст] / В.А. Веников. – Москва : Либроком, 2014. – 440 с
- 11 Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов [Текст] / Е.А. Конюхова. – Москва : Академия, 2013. – 320 с.
- 12 Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок, Дизайн-ПРО, Минск, 2006.
- 13 Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования [Текст] : учебное пособие / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2013. – 608 с.
- 14 Павлович, Ремонт и обслуживание электрооборудования, ВШ, Минск, 2003 (621.3(075)/П 123).
- 15 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. [электронный ресурс] : РД 153-34.0-20.527-98 / под ред. Б.Н. Неклепаева [и др.]. – [б. и.] , 98. -131 с.
- 16 Скопинцев В.А. Качество электроэнергетических систем. Надежность, безопасность, экономичность, живучесть [Текст] / В.А. Скопинцев – Москва : Машиностроение, 2015. – 352 с.
- 17 Справочник по наладке эл.оборудования промышл. предпр. (под ред. Зименкова М.Г. и др.) Энергоатомиздат, М. 1983 (621.3/С741).
- 18 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанции 35-750 кВ, типовые решения [Текст] : СТО 56947007–29.240.30.010–2008 : утв. приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 20.12.2007 № 441 : введ. в действие с 20.12.2007. – [Б.м.] : ОАО «ФСК ЕЭС», 2007. – 132 с.

19 Техническое задание на разработку проектной документации для строительства линии элеткропередачи ВЛ–110 кВ Стройбаза 1,2 с отпайкой на ПС Выселки [Текст] : утв. Генеральным директоров ЗАО «ЭиСС» В.В. Богряков . – 2013. – 5 с.

20 Учет месячных и годовых электрических нагрузок подстанции 750кВ «Владимирская». ПАО «ФСК ЕЭС», 2017. – 98 с.

21 Bucci G., Ciancetta F., Fiorucci E., Ometto A. Survey about Classical and Innovative Definitions of the Power Quantities Under Nonsinusoidal Conditions [Text] / G. Bucci, F. Ciancetta, E. Fiorucci, A. Ometto // International Journal of Emerging Electric Power Systems, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017

22 Fofana I., Hajaj Y. Electrical-Based Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers [Text] / I. Fofana, Y. Hajaj // Canada : Université du Québec à Chicoutimi, 2016, 26 p.

23 Guillen-Garcia E., Zorita-Lamadrid A. L., Duque-Perez O., Morales-Velazquez L., Osornio-Rios R. A., de Jesus Romero-Troncoso R., Power Consumption Analysis of Electrical Installations at Healthcare Facility [Text] / E. Guillen-Garcia, A. L. Zorita-Lamadrid, O. Duque-Perez, L. Morales-Velazquez, R. A. Osornio-Rios, R. de Jesus Romero-Troncoso // International Journal of Emerging Electric Power Systems, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, Vol. 17, No. 6, 2017

24 Rojas-Renteria J., Espinoza-Huerta T., Tovar-Pacheco F., Gonzalez-Perez J. Lozano-Dorantes R. An Electrical Energy Consumption Monitoring and Forecasting System [Text] / J. Rojas-Renteria, T. Espinoza-Huerta, F. Tovar-Pacheco, J. Gonzalez-Perez, R. Lozano-Dorantes // Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 6, No. 5, 2016, 1130-1132

25 Upadhyaya S., Mohanty S. Fast Methods for Power Quality Analysis [Text] / S. Upadhyaya, S. Mohanty // International Journal of Emerging Electric Power Systems, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, Vol. 18, No. 5, 2017