

Аннотация

В выпускной квалификационной работе произведена реконструкция распределительного устройства, далее РУ – 6 кВ, подстанции № 89, в цехе по производству пара, завода КуйбышевАзот. Модернизация включила в себя замену высоковольтных выключателей, определённых двигателей 6 кВ, и их питающих кабелей.

Основываясь на расчётах токов короткого замыкания, произведён выбор будущего высоковольтного оборудования. По данным расчёта экономической плотности тока и термической стойкости были выбраны сечение и марки кабелей.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объёмом 53 листов, 20 рисунков, 10 таблиц и шести чертежей формата А1.

Содержание

Введение	3
1 Анализ объекта проектирования.....	4
1.2 Описание принципиальной схемы подстанции № 89.....	5
1.3 Оборудование подстанции №89	7
1.4 Недостатки выключателей ВМПЭ – 10.....	10
2 Расчет токов короткого замыкания.....	12
2.1 Расчет токов трехфазного короткого замыкания	13
2.2 Расчет токов однофазного короткого замыкания	22
2.3 Расчет токов двухфазного короткого замыкания	27
2.4 Расчет токов двухфазного короткого замыкания на землю.....	29
3 Проведение мероприятий по реконструкции электрической части п/ст 89.....	32
3.1 Выбор электрического оборудования	32
3.2 Проверка выбранного оборудования	34
4 Расчёт заземляющего устройства ГПП № 50.....	41
5 Молниезащита ГПП № 50.....	45
5.1 Расчёт зоны защиты одиночно-стержневым молниеотводом.....	46
5.2 Общая защитная зона двух молниеотводов	47
Заключение	50
Список используемых источников.....	53

Введение

Замена отработавшего своё время оборудования — одна из болезненных проблем в электроэнергетике. В связи недостатка генерирующих мощностей в наше время перевооружение (электрохозяйства в целом) ежегодно производится всего лишь 0,5—0,9 млн. кВт оборудования, или менее 0,4 % установленной мощности.

Очень обострённо проблема бьёт по основным фондам предприятия из-за интенсивного старения электрооборудования электростанций и сетей.

Это привело к значительному возрастанию аварийности и увеличению затрат труда на восстановительный ремонт. Большая часть электрооборудования, отработали свои ресурсы, и поддержание их в рабочем состоянии требует не малых эксплуатационных затрат, и не только, работа с таким оборудованием опасна для жизни человека, а не качественное электроснабжение и работа технологического оборудования на предприятии, ведёт к большому убытку компании.

Потери электроэнергии из-за износа электрических сетей, возросли более чем на половину.

Цель бакалаврской работы является достижение надежной и бесперебойной работы электрооборудования, участвующее в технологическом процессе в цехе, на стратегически важном, химическом заводе РФ АО «КуйбышевАзот». Что бы обеспечить должное выполнение поставленной цели произвелось выполнить следующее:

- классический расчёт токов короткого замыкания;
- выбор на основании расчётов, высоковольтное оборудование и проводники;

1 Анализ объекта проектирования

Объектом по проведению мероприятий модернизации высоковольтных выключателей электродвигателей, стала подстанция № 89, далее (п/ст 89). Она является распределительным пунктом в цехе № 40. Сам цех считается одним из важных цехов, участвующий в технологическом процессе на «КуйбышевАзот», в производстве химической промышленности.

Распределительное устройство п/ст 89 имеет номинальное напряжение 6000 в, далее (РУ 6 кВ). От РУ 6 кВ питаются высоковольтные двигатели, номинальным напряжением 6000 В и КТП:

- 6 дымососов мощностью 250 кВт за единицу. Они вытягивают дым, продукты сгорания из котла, для поддержки нормального горения газа в котле;
- 5 питательных двигателей мощностью 500 кВт за единицу. Они нагнетают воду в котёл для преобразования пара, который транспортируется в цеха завода;
- 3 сетевых(отопительных) двигателя по 320 кВт. Они подают пар в сеть отопления цеха в зимнее время, а также дополнительно с основной транспортировкой;
- две, двух трансформаторные КТП цеха. В КТП установлены понижающие трансформаторы ТМЗ 1000/6/0.4, питающие все низковольтное оборудования участвующее в технологическом процессе, осветительную нагрузку, а также являются источником собственных нужд всего цеха.

Помимо основного оборудования, РУ питает ещё несколько небольших цехов.

1.2 Описание принципиальной схемы подстанции № 89

Электрооборудование п/ст 89 устарело как физически, так и морально, и требует замены на современное, удобное в эксплуатации и обслуживании, более надёжное оборудование.

Питание РУ – 6 кВ подстанции 89, осуществлено путём передачи энергии по кабельным линиям (далее КЛ) от ЗРУ – 6 кВ главной понизительной подстанции № 50 (ГПП 50), выполненной по схеме: радиальная двухступенчатая с резервированием, изображённая на рисунке 1.

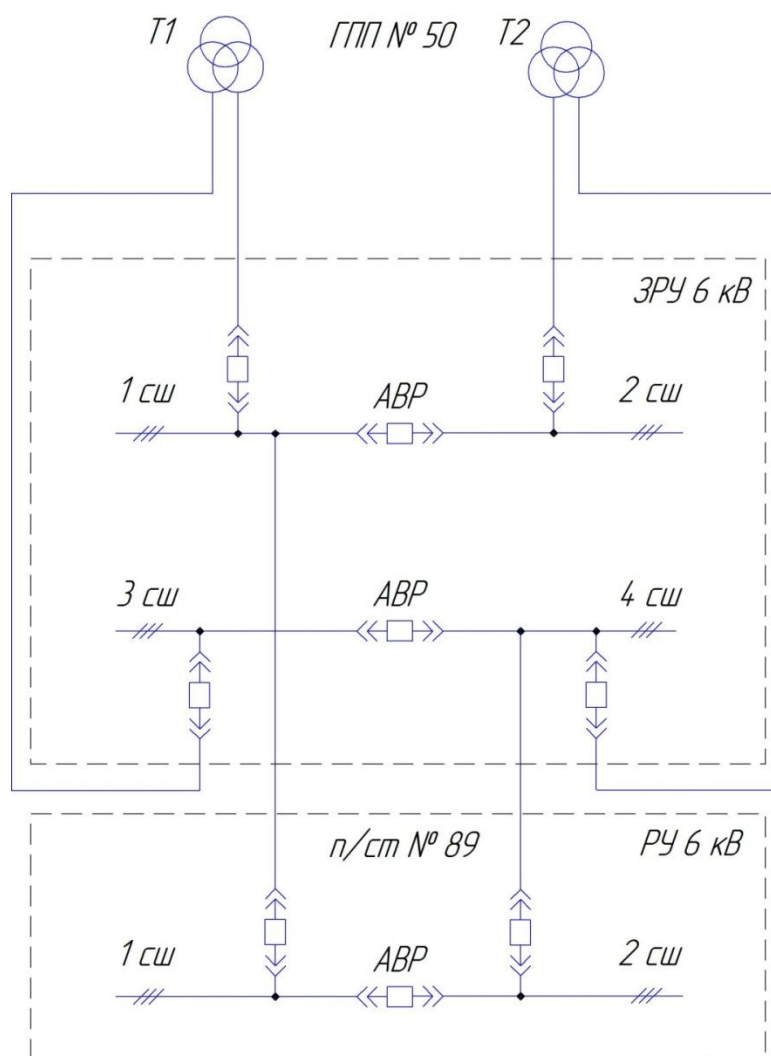


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема п/ст 89 от ГПП 50

Установленные на ГПП два трансформатора с расщеплёнными обмотками и сдвоенными реакторами, проектировщикам позволили привести схему ЗРУ 6 кВ к виду: четыре одиночных секционированных системы шин. Схема изображена на рисунке 1.2.

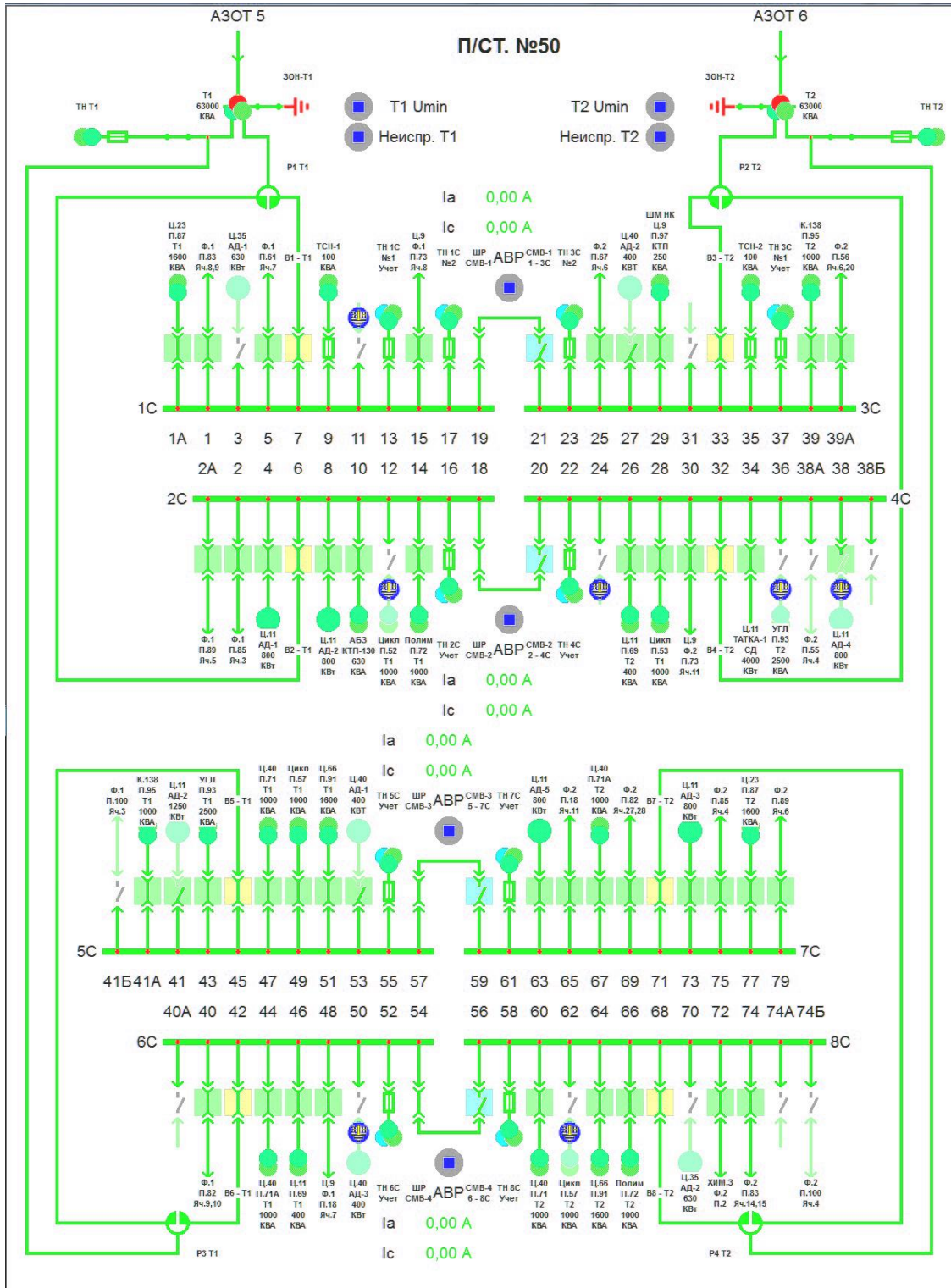


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема ГПП 50

На самой же п/ст 89, схема выполнена двумя секциями шин с одним секционированием, в нормальном режиме секционный высоковольтный выключатель отключён и находится в постоянной готовности.

Данные схемы позволяют обеспечить, практически бесперебойную работу потребителей, во время отработки защиты и устройства автоматического включения резервного питания (далее УАВР, АВР).

Резервирование выполнено благодаря наличию второго, постоянно включённого в работу, источника питания. Кратчайшее время перерыва питания потребителей и обеспечения самозапуска эл. двигателей, достигнуто за счёт минимального времени срабатывания УАВР и так же согласованности действия устройств АВР с действиями устройств автоматического повторного включения (далее УАПВ) и с действиями УАВР, расположенных вблизи источника питания. Обычно для данного резервирования, предусматривают ускорение защиты после УАВР. Это обеспечит вместе с основной защитой, скорое отключение резервного ИП (источника питания) и его потребителей, от резервируемой секции шин подвергшаяся повреждению от КЗ.

1.3 Оборудование РУ подстанции № 89

Ещё во время проектирования подстанции, конструктивным решением при выборе типа комплектного распределительного устройства (далее КРУ), в качестве РУ-6 кВ, стало применение шкафов КРУ с выкатными ячейками серии К-ХП (рисунок 1.3), с коридором обслуживания (двусторонним обслуживанием).

Применение выкатного КРУ с двусторонним обслуживанием особенно важно в первую очередь для предприятий стратегического назначения, где в ответственных электроустановках требуется скорая замена повреждённого, основного элемента выключателя на взаимозаменяемый элемент или выключателя в целом. К таким объектам относятся:

- машинные залы;
- предприятия металлургической и химической промышленности;
- крупные компрессорные и насосные станции;
- и другие электропомещения помещения общезаводского назначения.



Рисунок 1.3 – внешний вид КРУ К – XII

К плюсам я отнесу следующее:

- возможность двустороннего обслуживания. Это даёт производить осмотр оборудования и оценивать состояние без его отключения.
- отсутствия лицевой двери. Это предоставляет возможность производить все необходимые действия оперативному персоналу, особенно при выкатывании выключателя в ремонтное положение, и нет необходимости выкатывать его полностью из ячейки, как к примеру, у типа КРУ2 -10 где открытая дверца будет мешать рабочему процессу и загромождать проход. Если

всё же требуется выкатить выключатель, для КРУ К-ХП предусмотрена лицевая панель, которая закрывает ячейку для дополнительной безопасности.

К минусу я отнесу, только то, что в таком исполнении без двери, нет герметичности, а значит пыль, будет проникать внутрь ячейки. Но с установкой выключателей серии ВВ/TEL нам это не страшно, так как сам выключатель герметичный и места присоединения дополнительно защищены.

Приём питания от ЗРУ главной понизительной п/ст 50 производится через высоковольтные вакуумные выключатели 10 кВ, серии ВБПТВ с номинальным током 1250 А: вводной выключатель № 1 и вводной выключатель № 2.

Секционирование производится секционным высоковольтным вакуумным выключателем на 10 кВ, далее (СВВ) серии ВБПТВ с номинальным током в 1250А.

Все потребители, в том числе электродвигатели, собственно для которых будет производиться замена выключателей, запитаны через маломасляные высоковольтные выключатели ВМПЭ-10 (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – внешний вид ВМПЭ – 10

Таблица 1.1 – Технические данные выключателя ВМПЭ – 10– 10(6)/600

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	11.5
Номинальный ток, А	630
Номинальный ток отключения, кА	20
Мощность отключения, мВА	350
Время включения выключателя с приводом ПЭ-11, с	0,22
Собственное время отключения выключателя, с	0,06
Масса выключателя ВМГ-133, кг	190
Масса масла для выключателя, кг	10

На все высоковольтные выключатели, как приходящих линий, так и отходящих линий, установлен комплект трансформаторов тока (по 2 шт. на каждой), ТПЛ-10 с коэффициентом трансформации 150/5. Они служат для обеспечения защиты, и для передачи показаний на аналоговые измерительные приборы.

Так же отдельные ячейки с трансформаторами напряжения НТМИ-6 6/100/ 100/3.

1.4 Недостатки выключателей ВМПЭ – 10

Средний срок эксплуатации до первого ремонта выключателя данного типа, равен 8 лет, если до этого времени он не отработает свой ресурс по коммутационной износостойкости. А срок до списания будет равен около 25 лет, но при этом ему периодически потребуется регулировка и замена частей и узлов. когда у ВВ ВВ/TEL ремонт не требуется до конца всего срока службы.

ВМПЭ – 10 требует также производить замену масла после не более 10 отключений, а это имеет дополнительные эксплуатационные затраты.

За счёт того, что выключатели имеют масло, то они становятся пожароопасными и не экологичными.

К недостаткам ещё относится их большой вес. Это значительно усложняет задачу оперативному, и ремонтному персоналу, в ходе его эксплуатации и техническом обслуживании.

По окончании я хочу сравнить заменяемые с их заменяющими выключателями (таблица 1. 2)

Наименование параметра	Тип высоковольтного выключателя	
	ВМПЭ	ВВ/TEL
Механический ресурс циклов, не менее	2000	30000
Коммутационной ресурс, не менее: номинальных токов	1000	30000
номинальных токов отключения	10	50
Масса, кг	235 без масла	53
Назначенный срок службы до списания, лет	До 25	До 35

По таблице видно, что вакуумный выключатель данной серии превосходит по всем параметрам заменяемый выключатель.

2 Расчёт токов короткого замыкания

Данный раздел является очень важным моментом при проектировании понизительных подстанций, распределительных сетей и т.п. На основании данных, полученных в результате расчёта токов короткого замыкания, в дальнейшем выбираются коммутационные аппараты, выключатели, аппараты первичных и вторичных цепей, релейная защита и её уставновки, проводники их марки и модели. В дальнейшем производится проверка выбранного оборудования, каждое оборудование, устройство и проводники, имеют каждый свои критерии на пригодность.

В нашей работе, мы рассчитаем токи симметричных и несимметричных К. З.

Для выбора высоковольтных выключателей, нам было бы достаточно получить данные о трёх фазном токе короткого замыкания в точке К1, но так как питающие проводники являются кабельными линиями, то дополнительно нам придётся считать однофазный ток К. З. и двухфазный ток К. З. на землю для точек К1 как и для 3-х фазного.

Прежде чем приступить к расчётам, для упрощения и сокращения объёма расчётов, я выделю 3 группы электродвигателей. В каждой группе, будут формироваться однотипные двигатели с одинаковой мощностью:

- группа № 1 состоит из 5 питательных двигателей;
- группа № 2 состоит из 6 дымососов;
- группа № 3 состоит из 3 сетевых двигателей.

Так как двигатели, в составе группы № 1, № 2 или № 3, одинаковы между собой, то и расчёты будут идентичны. Поэтому для примера, и отображения всех этапов расчёта симметричных и несимметричных к. з., я произвёл подробный расчёт только для одного электродвигателя группы № 1. И таким же образом произвёл по одному расчёту для каждой группы, но без

подробного изложения, просто занеся результаты расчётов в таблицу 2. 4. 2 и 2. 4. 3, в конце всех расчётов.

2. 1 Расчёт трёхфазных токов короткого замыкания

Для ведения вычислений токов трехфазного короткого замыкания (далее К.З.), составим расчетную схем и схему её замещения, отображённые на рисунках 2. 1 и 2. 2.

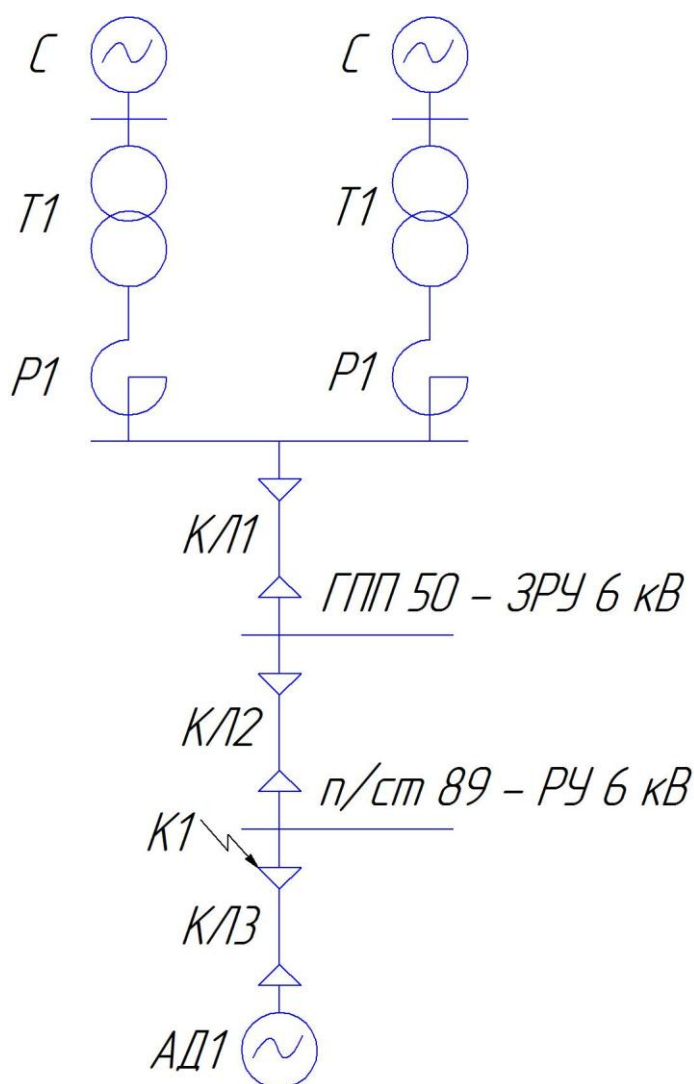


Рисунок 2. 1 – Расчетная схема

Для нашей схемы замещения правдивым будет, принять только индуктивные (реактивные) сопротивления всех элементов сети свыше 1000В.

Расчёт мы будем вести в относительных единицах, далее (о.е), приводя все значения элементов к базисным. За базисные величины, самостоятельно мы можем принять только две величины $S_{\sigma} = 1000 \text{ МВА}$ и $U_{\sigma \text{ ВН}} = 115 \text{ кВ}$; $U_{\sigma \text{ НН}} = 6,3 \text{ кВ}$.

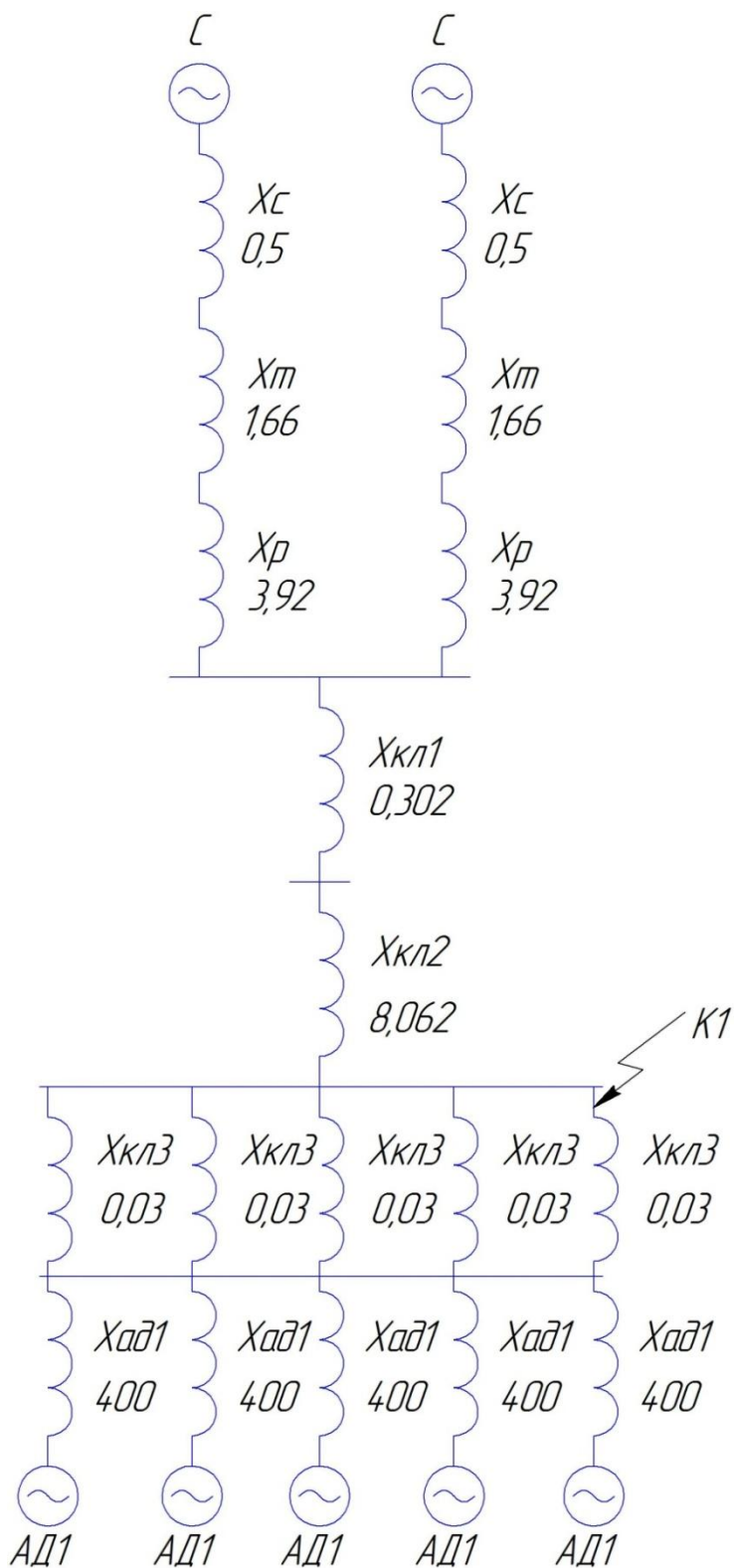


Рисунок 2. 2 – Эквивалентная схема для замещения «расчётной»

Для начала найдём значение базисного тока по формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}, \quad (2.1)$$

Воспользовавшись формулой выше, получим I_{σ} :

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

Индуктивность системы, вычисляется по следующей формуле, имеющая вид:

$$x_{*\sigma.c} = \frac{S_{\sigma}}{S_{K3}}, \quad (2.2)$$

где S_{σ} – единая базисная мощность примем 1000 МВА ;

S_{K3} – мощность короткого замыкания на зажимах питающей системы приближенно примем равной 2000 МВА .

Воспользовавшись формулой (2.2), вычислим индуктивность системы:

$$x_{*\sigma.c} = \frac{1000}{2000} = 0,3 \text{ (o.e.).}$$

Формула для нахождения индуктивного сопротивления силового трансформатора, несколько отличается:

$$x_{*\sigma.T} = \frac{U_{K3}, \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{ном,T}}, \quad (2.3)$$

где U_{K3} и $S_{ном,T}$ – напряжение короткого замыкания в процентах, и номинальная мощность в киловольт амперах, которые известны из паспортных данных трансформатора:

Воспользовавшись формулой (2.3), определим сопротивление силового трансформатора:

$$x_{*б.Т} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{63} = 1,66 \text{ (о.е.)}.$$

Индуктивное сопротивление реактора будем определять по формуле вида:

$$x_{*б.р} = \frac{X_p, \%}{100} \cdot \frac{I_{б}}{I_{ном,р}} \cdot \frac{U_{ном,р}}{U_{б}} \quad (2.4)$$

где X_p – собственное сопротивления обмоток реактора в процентах;

$I_{б}, U_{б}$ – базисные величины тока и напряжения;

$I_{ном,р}, U_{ном,р}$ – соответственно номинальные величины тока и напряжения реактора;

Воспользовавшись формулой (2.4), определим сопротивление токоограничивающего реактора:

$$x_{*б.р} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{91,4}{1} \cdot \frac{6}{6,3} = 3,92$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии, вычислим по формуле:

$$x_{*б.Л} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{CP}^2}, \quad (2.5)$$

где $x_{уд}$ – удельное сопротивление линии (для кабельных линии напряжением 6 кВ, согласно справочникам, примем равной 0,08 Ом/км);

l – длина кабельных линии составляет следующие значения:

- кабельная линия, идущая от реакторов до ЗРУ 6 кВ ГПП 50, составляет 150 метров (0,150 км);
- кабельная линия от ЗРУ 6 кВ ГПП 50 до п/ст 89 – РУ 6 кВ, составляет 4000 метров (4 км);
- кабельные линии питающие дымососы - 50 метров (0,05 км), питательные двигатели – 15 метров (0,015км), сетевые двигатели – 40 метров (0,04 км).

Воспользовавшись формулой (2.5), определим сопротивление кабельных линий:

$$x_{*б.кл1} = 0,08 \cdot 0,15 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 0,302(o.e.).$$

$$x_{*б.кл2} = 0,08 \cdot 4 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 8,062(o.e.).$$

$$x_{*б.кл3} = 0,08 \cdot 0,015 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 0,03(o.e.).$$

Индуктивное сопротивление для асинхронного двигателя вычисляется по данной формуле:

$$x_{*ад} = x''d \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_n}, \quad (2.6)$$

где $x''d$ – сверхпереходное сопротивление, значение которого можно взять, воспользовавшись таблицей 1 из курса лекций по электромагнитным переходным процессам под редакцией автора А. Д. Эрнст:

Таблица 2. 1 – Сверхпереходные реактивные сопротивления и ЭДС

Генератор	x''	E''
Турбогенератор мощностью менее 100 МВт	0,125	1,08
Турбогенератор мощностью 100—500 МВт	0,2	1,13
Гидрогенератор без демпферных обмоток	0,2	1,13
Гидрогенератор с демпферными обмотками	0,2	1,18
Синхронный двигатель	0,2	1,1
Синхронный компенсатор	0,2	1,2
Асинхронный двигатель	0,2	0,9

или же воспользоваться формулой для нахождения x'' :

$$x'' = \frac{1}{I_{\text{пуск}}} \approx (0,125 - 0,35),$$

где $I_{\text{пуск}}$ – кратность пускового тока (4,7 кА для нашего двигателя);

$$x'' = \frac{1}{4,7} = 0,21 \text{ (о.е.)}.$$

Воспользовавшись формулой (2.6), определим сопротивление асинхронного двигателя:

$$x_{*ad} = 0,21 \cdot \frac{1000}{0,5} = 400 \text{ (о.е.)}.$$

Приведя нашу схему к эквивалентному виду, мы можем упростить её для удобства дальнейшего расчёта. Упрощённая схема примет вид отображённая на рисунке 2. 3.

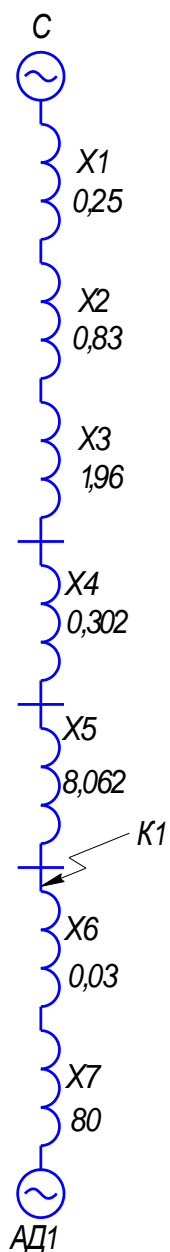


Рисунок 2. 3 – Расчётная схема замещения

$$X1 = \frac{x_{*б.с}}{2} = 0,25 \text{ (o.e.)}.$$

$$X2 = \frac{x_{*б.Г}}{2} = 0,83 \text{ (o.e.)}.$$

$$X3 = \frac{x_{*б.р}}{2} = 1,96 \text{ (o.e.)}.$$

$$X4 = x_{*б.кп1} = 0,302 \text{ (o.e.)}.$$

$$X5 = x_{*\delta, \text{кп}2} = 8,062 \text{ (о.е.)}$$

$$X6 = x_{*\delta, \text{кп}3} = 0,03 \text{ (о.е.)}$$

$$X7 = \frac{x_{*\text{ад}}}{5} = 80 \text{ (о.е.)}$$

Свернём последнюю схему до упрощённого вида, и найдём результирующее сопротивление до токи К1 сложив все сопротивления до этой точки (рисунок 2.4):

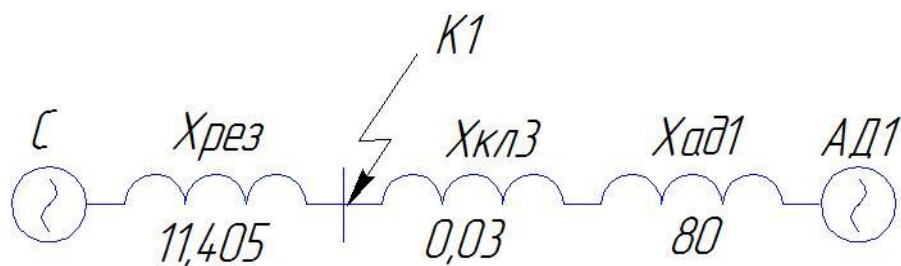


Рисунок 2. 4 – Свернутая схема замещения

$$X_{рез} = X1 + X2 + X3 + X4 + X5 = 11,405 \text{ (о.е.)};$$

Определим $I_{n,o}^{(3)}$ (начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ) по соответствующей формуле:

$$I_{n,o}^{(3)} = \frac{E_{*\delta}'}{x_{рез}} \cdot I_{\delta}, \quad (2.7)$$

Воспользовавшись формулой (2.7), определим $I_{n,o}^{(3)}$ для точки К1:

$$I_{n,o(K1)}^{(3)} = \frac{1}{11,405} \cdot 91,643 = 8,035 \text{ (кА)};$$

Далее определим $i_{y\delta}$ (ударный ток КЗ) в соответствии следующей формуле:

$$i_{y\delta}^n = \sqrt{2} \cdot I_{n,o}^{(n)} \cdot \kappa_{y\delta}, \quad (2.8)$$

где $\kappa_{y\delta}$ – ударный коэффициент, определяющийся по кривой (рисунок 2.5) исходя из места положения точки К1, принимаем равным 1,6.

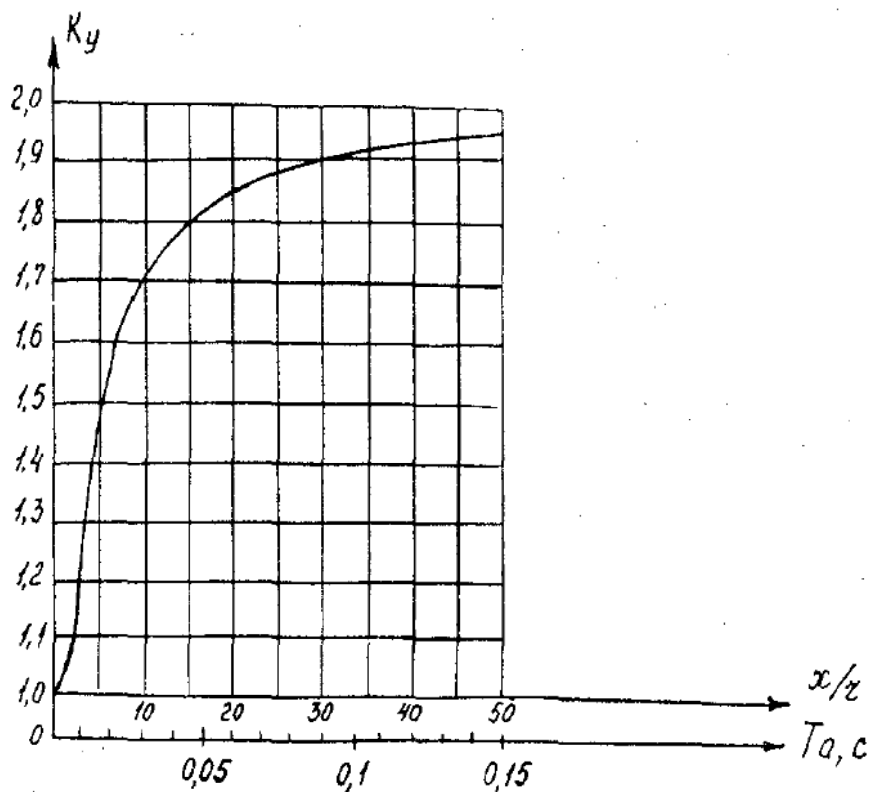


Рисунок 2.5 – Ударный коэффициент в зависимости от результирующих параметров схемы

Воспользовавшись формулой (2.8), определяем ударный ток 3 – Ф короткого замыкания для точки К1:

$$i_{y\delta(1)}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 8,035 \cdot 1,6 = 18,182 \text{ кА.}$$

Результаты расчета токов трехфазного короткого замыкания занесем в таблицу 2.4.1.

2.2 Расчет токов однофазного короткого замыкания

Для осуществления расчета однофазных, двухфазных и трехфазных токов К.З., а именно несимметричных, необходимо составить несколько схем замещения: прямой, обратной и нулевой последовательности и выполнить подсчёт результирующих сопротивлений для каждой схемы ($X_{\Sigma(1)}$, $X_{\Sigma(2)}$, $X_{\Sigma(0)}$).

Схема замещения прямой последовательности идентична схеме замещения для расчета токов 3 – ф к.з в точке К1. А значит, схема будет иметь вид, как показано на рисунке 2.6.

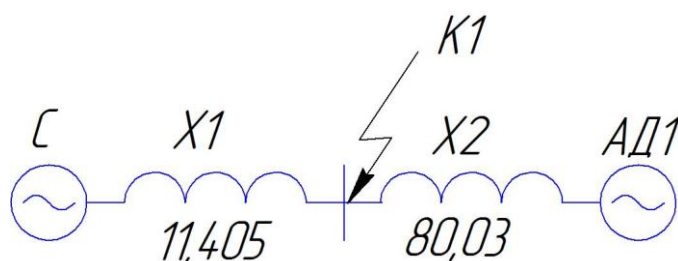


Рисунок 2.6 – Схема прямой последовательности

После найдём суммарное, индуктивное сопротивление прямой последовательности и произведём преобразование схемы до следующего вида (рисунок 2.7).

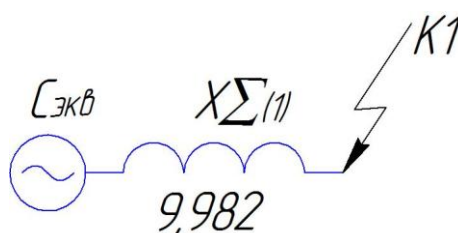


Рисунок 2. 7 – Эквивалентная схема прямой последовательности

$$X_{\Sigma(1)} = \frac{X1 + X2}{X1 \cdot X2} = 9,982 \text{ (o.e.)}$$

Схема обратной последовательности соответствует свёрнутой схеме прямой последовательности, в которой отсутствуют все источники ЭДС (рисунок 2.8).

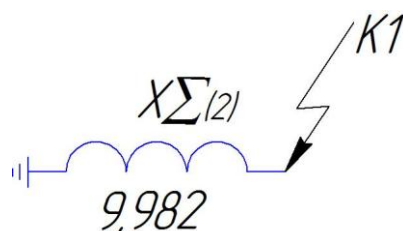


Рисунок 2.8 – Схема обратной последовательности

$$X_{\Sigma(2)} = X_{\Sigma(1)} = 9,982 \text{ (o.e.)}.$$

Результирующей сопротивлением $X_{(1)}$ и $X_{(2)}$ последовательности до точки К1 составит $x_{\Sigma 1} = x_{\Sigma 2} = 9,982 \text{ (o.e.)}$.

Для подсчёта индуктивных сопротивлений нулевой последовательности элементов ($X_C; X_T; X_P; X_{Дл}$), мы будем действовать по тому же принципу, что и в случае с 3-ф к.з., за исключением кабельных линий, их параметры определяются собственной конструкцией, это моделируется применением коэффициента d в следующей формуле:

$$x_{Л(0)} = x_{Л} \cdot d, \quad (2.9)$$

где d – добавочный коэффициент учитывающий соотношением между сопротивлением прямой и нулевой последовательности при расчётах несимметричных к. з., можно принять из таблицы 2

Таблица 2. 2 – Соотношением между $X_{(1)}$ и $X_{(0)}$ последовательности

Характеристика линии	d
Одноцепная линия без тросов	3,5
Одноцепная линия со стальными тросами	3,0
Одноцепная линия с хорошо проводящими тросами	2,0
Двухцепная линия без тросов	5,5
Двухцепная линия со стальными тросами	4,7
Двухцепная линия с хорошо проводящими тросами	3,0

Кабельная оболочка, по правилу должна быть заземлена в промежуточных (соединяющих муфтах) и конечных точках, следовательно, она служит как путь, для утечки $I_{(0)}$ (токов нулевой последовательности), параллельно земле (рисунок 2. 9).

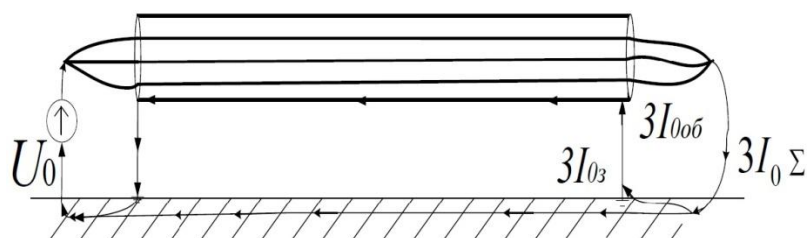


Рисунок 2.9 – Пути тока нулевой последовательности

где $I_{0об}$ — ток, протекающий по оболочке кабеля; $I_{0з}$ — ток, протекающий по земле.

В таком представлении, оболочка кабеля идентична заземляющим тросам у ЛЭП. Сопоставив наш кабель с одноцепной линией со стальными тросами, то по таблице 2, коэффициент будет равен 3.

Рассчитаем индуктивность всех элементов и составим схему замещения нулевой последовательности (рисунок 2.10).

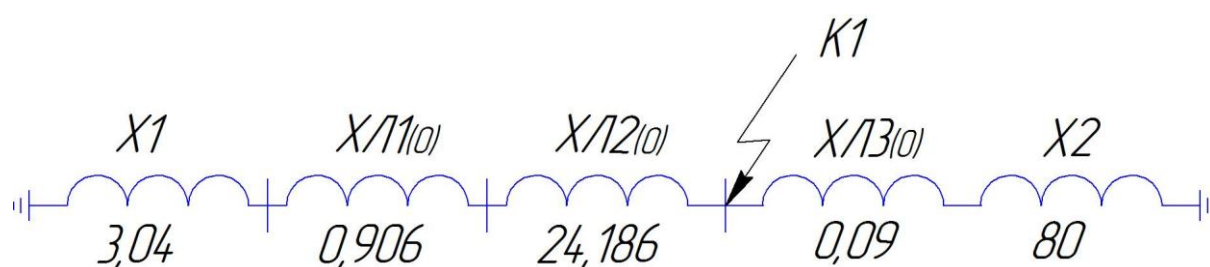


Рисунок 2.10 – Схема замещения нулевой последовательности

Ведём расчет индуктивного сопротивления нулевой последовательности для к. з. в точек К1.

$$X1 = \frac{X_C + X_T + X_P}{2} = 3,04 \text{ (о.е.)},$$

$$X2 = \frac{X_{ad}}{5} = 80 \text{ (o.e.)},$$

Воспользуемся формулой (2.9) и вычислим индуктивность кабельных линий $X_{(0)}$ нулевой последовательности:

$$x_{KL1(0)} = 0,302 \cdot 3 = 0,906 \text{ (o.e.)},$$

$$x_{KL2(0)} = 8,062 \cdot 3 = 24,186 \text{ (o.e.)},$$

$$x_{KL3(0)} = 0,03 \cdot 3 = 0,09 \text{ (o.e.)},$$

Сложим индуктивности, приведя схему замещения нулевой последовательности к упрощённому виду (рисунок 3.3).

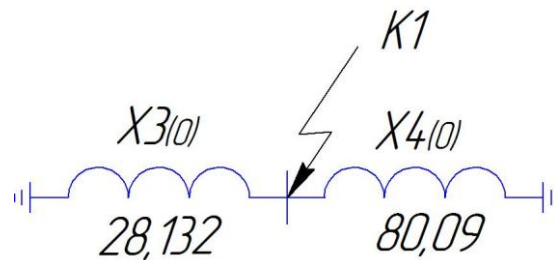


Рисунок 2.11 – Упрощённая схема замещения нулевой последовательности

$$X3_{(0)} = X1 + X_{KL1(0)} + X_{KL2(0)} = 28,132 \text{ (o.e.)},$$

$$X4_{(0)} = X_{KL1(0)} + X2 = 80,09 \text{ (o.e.)},$$

Следующим этапом мы найдём суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности $X_{\Sigma(0)}$ и составим её окончательную схему (рисунок 2.12).

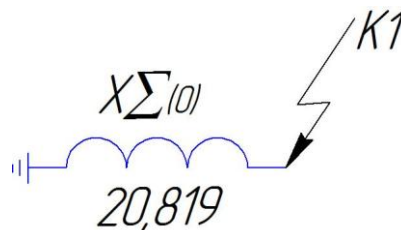


Рисунок 2.12 – Итоговая схема нулевой последовательности

$$X_{\Sigma(0)} = \frac{X_{3(0)} \cdot X_{4(0)}}{X_{3(0)} + X_{4(0)}} = 20,819 \text{ (o.e.)}$$

После того, как мы нашли все необходимые индуктивные сопротивления, для нахождения токов к. з. и ударных токов, мы запишем общую формулу для нахождения симметричных и несимметричных токов короткого замыкания. Расчёт для определённого тока к. з. моделируется с помощью коэффициентов и дополнительных сопротивлений.

$$I_{n.o}^{(n)} = m^{(n)} \cdot \frac{E_*''}{X_{\Sigma 1} + \Delta X^{(n)}} \cdot I_B, \quad (2.10)$$

где n - индекс вида к. з.;

$m^{(n)}$ - коэффициент, значение которого определяется видом к. з. (таблица 3);

$X_{\Sigma 1}$ - результирующее эквивалентное индуктивное сопротивление схемы замещения прямой последовательности относительно точки К1;

$\Delta X^{(n)}$ - дополнительное индуктивное сопротивление, которое определяется видом несимметричных к. з. и параметрами схем, при $I_{(2)}$ и $I_{(0)}$ последовательностей.

Таблица 2. 3 – Дополнительные сопротивления и коэффициенты разных видов к. з.

Вид к.з.	$\Delta X^{(n)}$	$m^{(n)}$
Однофазное	$X_{\Sigma(2)} + X_{\Sigma(0)}$	3
Двухфазное	$X_{\Sigma(2)}$	$\sqrt{3}$
Двухфазное на землю	$\frac{X_{\Sigma(2)} \cdot X_{\Sigma(0)}}{X_{\Sigma(2)} + X_{\Sigma(0)}}$	$\sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{X_{\Sigma(2)} \cdot X_{\Sigma(0)}}{(X_{\Sigma(2)} + X_{\Sigma(0)})^2}}$

Согласно таблице выше мы можем найти дополнительное сопротивление $\Delta X^{(n)}$ и коэффициент $m^{(n)}$ для однофазного к. з. Определим дополнительную индуктивность для однофазного к.з. согласно формуле из таблицы 2. 3:

$$\Delta x^{(1)} = x_{\Sigma(2)} + x_{\Sigma(0)} = 30,802 \text{ (o.e.)}.$$

Воспользовавшись формулой (2.10), вычислим начальное значение периодической составляющей тока однофазного к. з., применяя выражения указанных в таблице 2.3:

$$I_{n.o}^{(1)} = 3 \cdot \frac{1}{9,982 + (9,982 + 20,819)} \cdot 91,643 = 6,741 \text{ кА}.$$

Применяя формулу для 3 – ф тока к. з. (2.8), определим ударный ток однофазного короткого замыкания:

$$i_{y\delta}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o}^{(1)} \cdot I_{\delta};$$

$$i_{y\delta}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 6,741 \cdot 1,6 = 15,253 \text{ кА}.$$

Результаты расчета токов однофазного короткого замыкания занесем в таблицу 2.4.

2.3 Расчет токов двухфазного короткого замыкания

Дополнительную индуктивность для 2 – ф к. з. определяется согласно таблице:

$$\Delta x^{(2)} = x_{\Sigma(2)}, \quad (2.11)$$

Воспользовавшись формулой (2.11), вычисляем дополнительную индуктивность для несимметричного 2 – ф к. з.:

$$\Delta x^{(2)} = 9,982 \text{ (o.e.)}$$

$I_{n.o}^{(2)}$ несимметричного 2 – ух фазного к. з., определяется по следующей формуле:

$$I_{n.o}^{(2)} = m^{(2)} \cdot \frac{E_*''}{x_{\Sigma 1} + \Delta x^{(2)}} \cdot I_{\bar{\sigma}}, \quad (2.12)$$

где $m^{(2)}$ – согласно таблице, равен $\sqrt{3}$.

Воспользовавшись формулой (2.12), вычислим $I_{n.o}^{(2)}$ двухфазного к. з., применяя выражения указанных в таблице 2.3:

$$I_{n.o.(1)}^{(2)} = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{9,982 + 9,982} \cdot 91,643 = 7,95 \text{ кА.}$$

Применяя формулу для 3 – ф тока к. з. (2.8), определим ударный ток двухфазного короткого замыкания:

$$i_{y\delta}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o}^{(2)} \cdot I_{\bar{\sigma}};$$

$$i_{y\delta}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot 7,95 \cdot 1,6 = 17,99 \text{ кА.}$$

Результаты расчета токов двухфазного короткого замыкания занесем в таблицу 2.4.1.

2.4 Расчет токов двухфазного короткого замыкания на землю

Дополнительную индуктивность для 2 – ух фазного к. з., определяется по формуле согласно таблице:

$$\Delta x^{(1;1)} = \frac{x_{\Sigma(2)} \cdot x_{\Sigma(0)}}{x_{\Sigma(2)} + x_{\Sigma(0)}}. \quad (2.13)$$

Воспользовавшись формулой (2.13), вычисляем дополнительную индуктивность для несимметричного 2 – ух фазного к. з. на землю:

$$\Delta x_1^{(1;1)} = \frac{9,982 \cdot 20,819}{9,982 + 20,819} = 6,747 \text{ (o.e.)}.$$

$I_{n.o}^{(1;1)}$ несимметричного 2 – ух фазного к. з. на землю, определяется по следующей формуле:

$$I_{n.o}^{(1;1)} = m^{(1;1)} \cdot \frac{E_*''}{x_{\Sigma 1} + \Delta x^{(1;1)}} \cdot I_{\sigma}, \quad (2.14)$$

где $m^{(1;1)}$ – согласно таблице 2.3 вычисляется по определённой формуле:

$$m^{(1;1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{\Sigma(2)} \cdot x_{\Sigma(0)}}{(x_{\Sigma(2)} + x_{\Sigma(0)})^2}}. \quad (2.15)$$

Воспользовавшись формулой (2.15), вычисляем значение коэффициента $m^{(1;1)}$ при 2 – ух фазном к. з. на землю:

$$m_1^{(1;1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{9,982 \cdot 20,819}{(9,982 + 20,819)^2}} = 1,531 \text{ (o.e.)}.$$

Воспользовавшись формулой (2.14), вычислим $I_{n.o}^{(1;1)}$ двухфазного к. з., применяя выражения указанных в таблице 2.3:

$$I_{n.o}^{(1;1)} = 1,531 \cdot \frac{1}{9,982 + 6,747} \cdot 91,643 = 8,385 \text{ кА.}$$

Применяя формулу для 3 – ф тока к. з. (2.8), определим ударный ток 2 – ух фазного к. з. на землю:

$$i_{y\partial}^{(1;1)} = \sqrt{2} \cdot I_{n.o}^{(1;1)} \cdot I_{\sigma};$$

$$i_{y\partial}^{(1;1)} = \sqrt{2} \cdot 8,385 \cdot 1,6 = 18,972 \text{ кА.}$$

Все результаты значений симметричных и не симметричных к. з., полученные в ходе подробного расчёта, для наглядности занесём в таблицу 2.4.1, в которой мы сможем понять, при каком виде к. з., ток достигает максимальных значений, что бы в дальнейшем правильно подобрать оборудование.

Таблица 2.4.1 – Результаты расчета симметричных и несимметричных токов к. з. и ударных токов, в точке К1, линии электродвигателя группы № 1

Место КЗ	Вид КЗ	Начальное значение периодической составляющей тока КЗ, кА	Ударный ток КЗ, кА
К1	$K^{(3)}$	9,180	20,773
	$K^{(1)}$	6,741	15,253
	$K^{(2)}$	7,950	17,990
	$K^{(1;1)}$	8,385	18,972

Таблица 2.4.2 – Результаты расчета симметричных и несимметричных токов к. з. и ударных токов, в точке К1, линии электродвигателя группы № 2

Место КЗ	Вид КЗ	Начальное значение периодической составляющей тока КЗ, кА	Ударный ток КЗ, кА
К1	$K^{(3)}$	8,608	19,478
	$K^{(1)}$	6,080	13,757
	$K^{(2)}$	7,455	16,868
	$K^{(1;1)}$	7,816	17,686

Таблица 2.4.3 – Результаты расчета симметричных и несимметричных токов к. з. и ударных токов, в точке К1, линии электродвигателя группы № 3

Место КЗ	Вид КЗ	Начальное значение периодической составляющей тока КЗ, кА	Ударный ток КЗ, кА
К1	$K^{(3)}$	8,768	19,182
	$K^{(1)}$	6,271	14,153
	$K^{(2)}$	7,590	17,180
	$K^{(1;1)}$	7,975	18,042

По таблицам 2.4.1 2.4.2 2.4.3 мы видим, что по итогу расчётов, максимальных значений достигает ток $K^{(3)}$ (трёхфазный к. з.), следующий по величине $K^{(1;1)}$ (ток двухфазного короткого замыкания на землю). Дальнейший выбор и проверка оборудования, и кабелей питания электродвигателей, будем проводить именно по трёхфазному к. з.

3 Проведение мероприятий по реконструкции электрической части п/ст 89

Подстанция 89 уже имеет место реконструкции включавшая в себя замену вводных и секционных высоковольтных выключателей. На этом этапе всё остановилось, а срок эксплуатации остального оборудования подходит к концу, у некоторых и вовсе закончился, что несёт в себе всё более непредсказуемую работу механизмов и всего оборудования в целом, несмотря на то, что проводятся определённых профилактики.

Замена высоковольтного оборудования (в нашем случае маломасляные выключатели 10(6) кВ, позволит сократить аварийность, хорошую производительность, удобство в оперативном обслуживании, компактность, а с новыми вакуумными выключателями ВВ/TEL и вовсе практически отказаться от планового и капитального ремонта. У ВВ марки ВВ/TEL практически неограниченный срок службы, более 50 лет, что достигается за счёт отсутствия сложных механизмов нежели как у маломасляных.

Помимо силовой части, нам следует заменить кабели питания электродвигателей. Их ещё закладывали в момент проектирования подстанции.

3.1 Выбор электрического оборудования

Первым этапом модернизации п/ст 89 – РУ 6 кВ, будет производиться замена высоковольтных маломасляных выключателей 10 (6) кВ. Маломасляные выключатели ВМПЭ-10 установлены на линиях питающие асинхронные электродвигатели 6 кВ.

Маломасляный выключатель ВМПЭ-10 (Рисунок 1.4) имеет значительно меньший ресурс, по показаниям коммутационных и механических способностях, меньший срок службы, высокие эксплуатационные затраты, и

не так удобен в обслуживании, как выключатель ВВ/TEL типа Shell исполнения 113, с огромным количеством особенностей.

Технические данные вакуумного выключателя, отображены в таблице 3.1.

Сам выключатель изображен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Вакуумный выключатель ВВ/TEL – 10 – 31,5 /630

Таблица 3.1 – Технические характеристики вакуумного выключателя ВВ/TEL – 10 – 31,5 /630

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Максимально допустимое рабочее напряжение, кВ	12
Собственное время включения, с	не более 0,055
Номинальный ток, А	630
Ток электродинамической стойкости, кА	32
Номинальный ток отключения, кА	20
Ток термической стойкости, кА	20
Время протекания тока термической стойкости, с	3

3.2 Проверка выбранного оборудования

Решением для выбора оборудования и проводников для п/ст 89 – РУ 6 кВ будет окончательным после того, когда выбранное оборудование пройдет проверку на соответствие и пригодность его к тем условиям, которые определяются по окончании расчетных условий, а именно: расчетных рабочих токов присоединений, апериодической и периодической составляющих тока, и токов к.з.

Расчетные данные сравниваются в конце расчёта (таблица 3.2), с номинальными параметрами аппарата, указанных в техническом паспорте в соответствии с моделью выключателя.

При выборе оборудования учитывается следующее:

- загрязненность среды;
- род установки (наружная или внутренняя);
- стоимость аппарата;
- удобство его размещения в распред. устройствах и других помещениях электрохозяйства;
- вес и габариты.

3.2.1 Проверка ВВ выключателя

Выбор высоковольтного выключателя производится по следующим рекомендуемым параметрам:

1. Номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сети ном}}$$

$$6 \text{ кВ} \leq 6 \text{ кВ}$$

2. Номинальному току:

$$I_{\text{дл. доп}} \leq I_{\text{ном}};$$

$$I_{\text{дл. доп}} = 1,05 \cdot I_p, \quad (3.1)$$

где $I_{\text{дл. доп}}$ – длительно допустимый ток;

I_p – расчётный (номинальный) ток электродвигателя.

3. Отключающей способности:

а) на симметричный ток отключения:

$$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{откл.ном}}$$

б) на отключение аperiodической составляющей тока к.з.:

$$i_{\text{а.т}} \leq i_{\text{а.ном}},$$

где $I_{\text{п.т}}$ – значение периодической составляющей из таблицы 2. 4;

$I_{\text{откл.ном}}$ – значение, взятое из каталожных данных выключателя;

$i_{\text{а.ном}}$ – аperiodическая составляющая выключателя находится по формуле:

$$\left(\sqrt{2} \cdot \frac{\beta}{100}\right) \cdot I_{\text{откл.ном}}, \quad (3.2)$$

$i_{\text{а.т}}$ – номинальное допустимое расчётное значение аperiodической составляющей находится по формуле:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{п.о}} \cdot e^{-\tau/Ta}, \quad (3.3)$$

в отключаемом токе для времени $\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в}} = 0,01 + 0,025 = 0,035 \text{ с}$

β - нормированное значение содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе, %, которое определяется по известным кривым (рисунок 3.2).

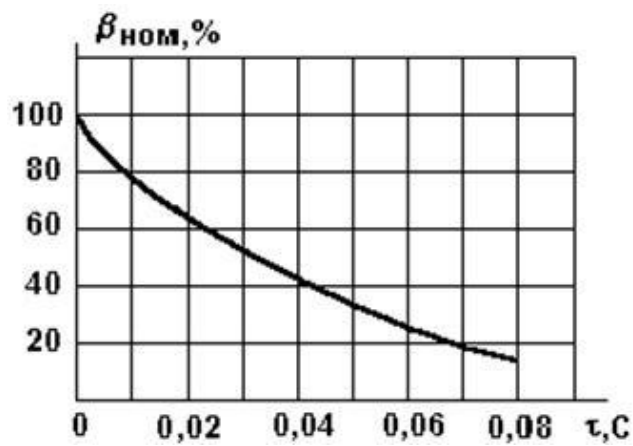


Рисунок 3.2 – Кривая содержания аperiodической составляющей;

где $t, с$ – собственное время отключение выключателя.

4. Предельному сквозному току к.з. – на электродинамическую стойкость:

$$I_{п.о} \leq I_{пр.с.},$$

$$i_{уд.} \leq i_{пр.с.},$$

где $I_{пр.с.}$ – действующее значение предельного сквозного тока к.з. (по техническим данным выключателя из справочника);

$i_{пр.с.}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока к.з. (по техническим данным выключателя из справочника).

$i_{уд.}$ – значение ударного тока из таблицы 2. 4.

$$8,035 \text{ кА} < 12,5 \text{ кА}; \text{кА},$$

$$18,182 \text{ кА} < 32 \text{ кА}; \text{кА}$$

5. На термическую стойкость β_k :

$$\beta_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл.},$$

где I_T^2 – среднеквадратическое значение тока за время его протекания (ток термической стойкости) по техническим данным выключателя из справочника.

$$\beta_k = I_{п,о}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (3.4)$$

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = 12,5^2 \cdot 0,2 = 31,25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

После того как мы подробно описали все необходимые нам параметры произведём расчёт отдельных пунктов и их результаты занесём в таблицу 3.2, для сравнения расчётных параметров с каталожными данными выключателя:

Воспользовавшись формулой (3.1) найдём параметры второго пункта:

$$I_{дл. доп} = 1,05 \cdot 56,5 = 59,32 \text{ А},$$

$$59,32 \text{ А} < 630 \text{ А}$$

Воспользуемся формулой (3.2) и (3.3) найдя апериодическую составляющую тока выключателя и расчётного:

$$\text{расчётный: } i_{а.т} = \sqrt{2} \cdot 8,035 \cdot e^{-0,035/0,04} = 4,737 \text{ кА};$$

$$\text{выключателя: } i_{а.ном} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{40}{100}\right) \cdot 12,5 = 7,07 \text{ кА};$$

$$4,737 \text{ кА} < 7,07 \text{ кА}$$

Воспользовавшись формулой (3.4) найдём расчётное значение β_k :

$$\beta_k = 8,035^2 \cdot (0,2 + 0,04) = 15,495 \text{ кА};$$

$$15,495 \text{ кА} < 31,25 \text{ кА}$$

Дополнительно произведём проверку отключающей способности по полному току:

$$I_{полн} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о}^{(3)} + i_{а.т}^{(3)} = 1,73 \cdot 9,18 \cdot 4,737 = 20,227 \text{ кА}.$$

Составим таблицу 3.2 для внесения в неё результаты всех 3 групп электродвигателей, для сравнения каталожных данных с расчётными и дальнейшего вывода по выбору высоковольтного выключателя.

Таблица 3.2 – Расчётные и каталожные данные

Выключатель ВВ/TEL – 10 – 31,5 /630			
Расчётные данные групп эл. двигателей			Каталожные данные
№ 1	№ 2	№ 3	
$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$			$U_{сет.ном} = 6 \text{ кВ}$
$I_{max} = 56,91 \text{ А}$	$33,44 \text{ А}$	$42,76 \text{ А}$	630 А
$I_{п.о} = 9,18 \text{ кА}$	$8,608 \text{ кА}$	$8,768 \text{ кА}$	20 кА
$i_{а. \tau} = 5,412 \text{ кА}$	$5,075 \text{ кА}$	$5,169 \text{ кА}$	$7,07 \text{ кА}$
$i_{уд.} = 20,773 \text{ кА}$	$19,48 \text{ кА}$	$19,84 \text{ кА}$	32 кА
$I_{полн} = 18,39 \text{ кА}$	$17,25 \text{ кА}$	$17,57$	$24,749 \text{ кА}$
$\beta_k = 20,227 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$17,78 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$18,45 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$31,25 \text{ кА} \cdot \text{с}$

По таблице мы видим, что параметры выключателя лучше всех расчётных параметров, всех групп эл. двигателей, а значит, мы установим данную модель выключателя на все эл. двигатели.

3. 2. 1 Выбор и проверка питающего кабеля

При выборе проводника мы будем придерживаться расчётов совершённых ранее, при токах к. з.

Выбор кабеля свыше 1 кВ, так же определяется по рекомендуемым расчётным характеристикам:

1) напряжению установки:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сети ном}}$$

2) экономической плотности тока по формуле:

$$s_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{э}}}; \quad (3.2.1)$$

где $j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, равная «2» для трёхжильного медного кабеля в поливинилхлоридной изоляции, при продолжительном использовании максимума $T_{\text{ц}} = 5000$ час. Согласно табличным данным (таблица 1.3.36) ПУЭ, главы 1.3 пункта 1.3.25.

$I_{\text{норм}}$ – продолжительный режим эл. двигателя: $I_{\text{max}} = 1,05 \cdot 56,91 = 59,7 \text{ A}$

Воспользуемся формулой (3.2.1) и найдём 2 пункт:

$$s_{\text{эк}} = \frac{59,7}{2} = 29,8 \text{ мм}^2;$$

Полученные результат округляем до следующего стандартного значения, 35 мм^2

Выберем предварительно кабель ВВГ 3х35 мм²

3) По допустимому току:

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{дон}};$$

ВВГ 3х35 - $I_{\text{дон}} = 122 \text{ A}$

4) По термической стойкости определяется по следующей формуле:

$$s_{\text{min}} \leq s,$$

где s_{min} – минимально допустимое сечение жил кабеля, которое определяется по следующей формуле:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{B_{\text{мер}}}}{C_T}; \quad (3.2.2)$$

где $B_{\text{мер}} = B_k$;

C_T – Предельно допустимые температуры нагрева проводников при $KЗ = 160$.

Воспользуемся формулой (3.2.2) и вычислим минимально допустимое сечение кабеля:

$$s_{\min} = \frac{\sqrt{20,22 \cdot 10^6}}{160} = 28,11 \text{ мм}^2;$$

$$28,11 \text{ мм}^2 < 35 \text{ мм}^2.$$

Соответственно сечение кабеля мы выбрали верно

Из – за допустимо – минимального сечения кабеля, в расчёте для других двигателей групп: № 2 - $s_{\min} = 26,35 \text{ мм}^2$; № 3 - $s_{\min} = 26,82 \text{ мм}^2$;

Мы решили использовать кабель ВВГ 3х35 мм² для всех электродвигателей.

4 Расчёт заземляющего устройства главной понизительной подстанции № 50

Правилам в ПУЭ устройства заземления электроустановок, необходимо выполнять с учётом сопротивления $R_3 \leq 0,5\text{Ом}$ или же нормативного напряжения прикосновения (далее $U_{пр.}$)

Вычисление по $R_3 \leq 0,5\text{Ом}$ приводят к бессмысленному перерасходу материала(металла), и некая трудоёмкость при изготовлении заземляющих устройств. При эксплуатации РУ 110 кВ. и выше даёт возможность перейти к нормированию $U_{пр.}$, а не значени R_3 .

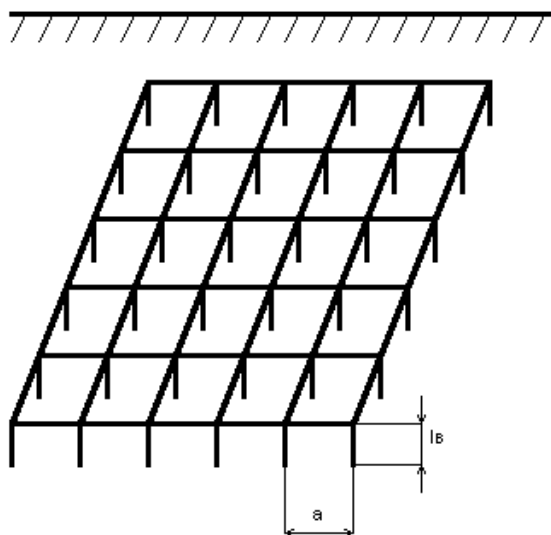


Рисунок 4.1 – Схема заземлителя.

Сложное устройство заземлителя, сменяет расчётная квадратная модель (Рисунок 4.1) при соблюдении условий равенства их площадей S , глубины заложения t горизонтальных проводников, их общей длины, глубина вертикальных заземляющих стержней, их длина и глубина заложения в грунт.

Многослойный грунт, во время расчётов, принимается двухслойный:

- верхней толщиной h_1 (с удельным сопротивлением ρ_1);
- нижний с удельным сопротивлением ρ_2 .

Примерная глубина заложения заземляющего устройства $t = 0,5 - 0,7 м$, длина вертикального заземлителя $l_B = 3 - 5 м$, выберем $l_B = 5 м$, расстояние между горизонтальными заземлителями $a = 5 м$.

ОРУ 110кВ

Грунт.

$r_1 = 400 \text{ Ом} \times м$ – Супесок.

$r_2 = 200 \text{ Ом} \times м$

$t_{отк} = 0,16 \text{ с}$ согласно зон защит

$S = 32 \cdot 69,5 = 2224 м^2$

Толщина верхнего слоя грунта $h_1 = 2 м$.

Глубина заземляющего устройства $0,5 - 0,7 м$, принимаю $t = 0,5 м$.

Длинна вертикального заземлителя $3 - 5 м$, принимаю $l_B = 5 м$.

Расстояние между вертикальными заземлителями с полосами $4 - 6 м$, принимаю $a = 5 м$.

Длинна горизонтального заземлителя:

$$L_{\Gamma} = \left(\sqrt{S} \cdot \frac{\sqrt{S}}{a} + 1 \right) \cdot 2 = \left(\sqrt{2224} \cdot \frac{\sqrt{2224}}{5} + 1 \right) \cdot 2 = 891,6 м$$

Коэффициент напряжения прикосновения.

$$K_{II} = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_B \cdot L_{\Gamma}}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}} = \frac{0,62 \cdot 0,63}{\left(\frac{5 \cdot 891,6}{5 \cdot \sqrt{2224}} \right)^{0,45}} = 0,1$$

где M – коэффициент зависящий от отношения удельного сопротивления грунтов *стр.598* $2 - M = 0,62$

β - поправочный коэффициент с учётом сопротивлению тела человека $R_{ч}$ и сопротивлению растеканию тока от ступней человека $R_{с}$. В расчетах принимаю $R_{ч} = 1000 \text{ Ом}$; $R_{с} = 1,5r1$

$$\beta = \frac{R_{ч}}{R_{ч} + R_{с}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 400} = 0,63$$

Напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{np.дон}}{K_{II}} = \frac{400}{0,1} = 4000 \text{ В}$$

где $U_{np.дон}$ – допустимое напряжение прикосновения =400В при $t_{отк} = 0,16с$

Ток стекающий с заземлителя, разрабатываемого заземляющего устройства, при 1 - ф токе к. з.

$$I_3 = 1,25кА$$

Число вертикальных заземлителей:

$$n_B = \frac{\sqrt{S} * 4}{\frac{a}{l_B} \cdot l_B} = \frac{\sqrt{2224} \cdot 4}{\frac{5}{5} \cdot 5} = 37,7 \text{ Ом}$$

Принимаем $n_B = 40$ шт.

Допустимое сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{3.дон} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{4000}{1250} = 3,2 \text{ Ом.}$$

Общая длинна вертикальных заземлителей:

$$L_g = 5 = 40 \times 5 = 200 \text{ м}$$

Относительная глубина заложения заземляющего устройства.

$$\frac{l_B + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,5}{\sqrt{2224}} = 0,13$$

$$A = (0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_B + t}{\sqrt{S}}) = (0,444 - 0,84 \cdot \frac{5 + 0,5}{\sqrt{2224}}) = 0,33$$

Относительная толщина верхнего слоя

$$\frac{h_1 - t}{l_B} = \frac{2 - 0,5}{5} = 0,3$$

По таблице 11.6 стр.97 методического указания по проектированию п/ст

Относительное эквивалентное удельное сопротивление для сеток с вертикальными заземлителями:

$$\rho_{ЭК}^* = \frac{1,1 + 1,13}{2} = 1,115$$

Эквивалентное сопротивление грунта:

$$\rho_{ЭК} = \rho_{ЭК}^* \cdot \rho_2 = 1,115 \cdot 200 = 223 \text{ Ом*м}$$

Общее сопротивление сложного заземлителя.

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_{Э}}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_{Э}}{L_B + L_{Г}} = 0,33 \cdot \frac{223}{\sqrt{2224}} + \frac{223}{1147,68 + 205} = 1,72 < 2,54 \text{ Ом}$$

Напряжение прикосновения:

$$U_{пп} = K_{II} \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,1 \cdot 1125 \cdot 1,72 = 58,78 \text{ ВВ}$$

$$U_{np} < U_{np.дон.} 193,5 < 400 \text{ В}$$

5 Молниезащита ГПП № 50

Есть понятие как внешнее перенапряжение. Это перенапряжение которое действует со стороны окружающей среды при прямом попадании молнии.

Поэтому на стадии проектировании электросетей, станций и подстанций, необходимо учитывать, вероятность их повреждений от попадания молнии и учитывать возможность её предотвращения. Открытые электроустановки, особенно притягивают некую стихию.

Согласно Руководящим указаниям по защите электростанций и подстанций свыше 3кВ от прямых ударов молнии (далее ПУМ), защита оборудования расположенного на территории этих станций является обязательной. К таким объектам относятся:

- ОРУ, включая все гибкие связи и шинные мосты;
- здания маслохозяйства;
- здания машинного отделения и ЗРУ.

ОРУ станций и подстанций защищаются от ПУМ стержневыми молниеотводами и только для протяженных шинных мостов и гибких связей применяются тросовые молниеотводы.

Защита ОРУ осуществляется установкой стержневых молниеотводов на порталах подстанций или устройством отдельно стоящих стержневых молниеотводов со своими обособленными заземлителями.

Молниеотводы, установленные на порталах подстанций, дешевле отдельно стоящих молниеотводов, так как требуют меньше металла на изготовление.

Они ближе располагаются к защищаемому оборудованию, поэтому эффективнее используется их защитная зона. Но при поражении порталного молниеотвода ударом молнии с большой амплитудой и крутизной фронта импульса тока на молниеотводе и на портале значительно возрастает

напряжение. Это напряжение может оказаться достаточным, чтобы вызвать «обратное» перекрытие изоляции ОРУ с заземленных элементов на токоведущие части подстанции.

Расчет высоты стержневых молниеотводов:

$$h_a \geq \frac{D}{8 \cdot p}, \quad (5.1)$$

$$h = h_a + h_x, \quad (5.2)$$

где h – полная высота молниеотвода;

h_a – активная высота молниеотвода (11,35 м);

h_x – высота защищаемого сооружения (5,5 м);

$p=1$ при $h \leq 30$ м,

D – большая диагональ четырехугольника с молниеотводами в его вершинах (59 м).

Воспользовавшись формулой (5.1) и (5.2) вычислим высоты молниеотвода:

$$h_a \geq \frac{59}{8 \cdot 1} = 7,375 \text{ м}; \text{ принимаем } 8,5 \text{ м};$$

$$h = 11,35 + 8,5 = 19,85 \text{ м}; \text{ принимаем } 20 \text{ м}.$$

Высоту молниеотвода от земли выбирают такой, чтобы защищаемые оборудование и конструкции попали в зону защиты молниеотвода, внутри которой с достаточной надежностью (в электроустановках 99,5% – зона защиты типа А) обеспечивалась бы защита зданий и сооружений от прямых ударов молнии.

5.1 Расчёт зоны защиты одиночно-стержневым молниеотводом

Расчёт зоны защиты одиночно-стержневым молниеотводом высотой $h < 150$ м представляет собой конус с высотой:

$$h_0 = 0,85h;$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ м};$$

и радиусами на уровне земли и уровне защищаемого оборудования

$$r_o = (1,1 - 0,002 \cdot h) \cdot h;$$

$$r_x = (1,1 - 0,002h)(h - h_x / 0,85);$$

$$r_o = 1,1 - 0,002 \cdot 20 \cdot 20 = 21,2 \text{ м};$$

$$r_{x1} = 1,1 - 0,002 \cdot 20 \cdot 20 - 11,35 / 0,85 = 7,04 \text{ м};$$

$$r_{x2} = 1,1 - 0,002 \cdot 20 \cdot 20 - 5,5 / 0,85 = 14,3 \text{ м}.$$

5.2 Общая защитная зона двух молниеотводов

Молниеотводы с одинаковой высотой, расположены друг от друга на расстоянии $h < L_1 < 3h$ ($20 < L_1 = 53 < 3 \cdot 20 = 60$) тем самым образуя одну (общую) зону защиты.

Характер зоны от одного молниеотвода до другого, представляется гребнем в виде ломаной линии. Высота самой низшей точки этого гребня определяется по следующим формулам:

$$h_c = h_o - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h)(L_1 - h); \quad (5.2.1)$$

$$r_{cx} = r_o(h_c - h_x) / h_c; \quad (5.2.2)$$

$$r_c = r_o;$$

Воспользовавшись формулами (5.2.1) и (5.2.2) найдём высоту гребня:

$$h_c = 17 - 0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 53 - 20 = 11,72 \text{ м};$$

$$r_{cx1} = 21,2 \cdot 11,72 - 11,35 / 11,72 = 0,67 \text{ м};$$

$$r_{cx2} = 21,2 \cdot 11,72 - 6 / 11,72 = 10,3 \text{ м};$$

$$r_c = 21,2 \text{ м};$$

$$h < L_1 < 3h (20 < L_1 = 26 < 3 \cdot 20 = 60);$$

$$h_c = 17 - 0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 26 - 20 = 15,9 \text{ м};$$

$$r_{cx1} = 21,2 \cdot 15,9 - 11,35 / 15,9 = 6 \text{ м};$$

$$r_{cx2} = 21,2 - 15,9 - 6 / 15,9 = 13,2 \text{ м.}$$

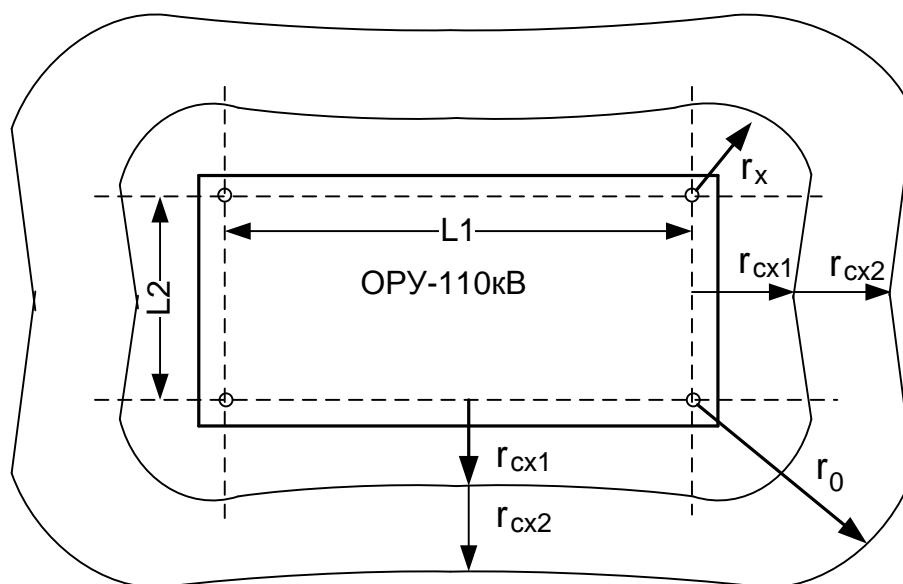


Рисунок 5.1- Схема расположения молниеотводов на ОРУ-110кВ ГПП 50.

Молниеотводы собираются в одну конструкцию из отдельных частей:

- молниеприемника;
- несущей конструкции;
- токоотвода;
- заземлителя.

Первый в конструкции принимает воспринимает удар молнии на себя. Поэтому он должен быть рассчитан на высокие нагрузки для противостояния механическим и тепловым воздействиям тока.

Молниеприемники изготавливаются из высокопрочной стали прокатного типа и любого профиля, сечение которого составляет не менее 100 мм^2 , при длине его длине 2,5 м.

Несущая конструкция закрепляет на себе токоотвод и молниеприемник.

Большое распространение получили молниеотводы устанавливаемые на железобетонные, деревянные, металлические опоры.

Для прохождения полного тока от молнии, токоотводы с опорами выполненными из дерева изготавливаются различного профиля с сечением не менее 6мм^2 , а угловую сталь с толщиной стенки 0,4 см с размером полки не менее 48мм^2

Заземлители у молниеотводов позволяют отводить в землю сверхтоки. Исходя из требований, сопротивление заземлителя не должно превышать 10-15 Ом.

Для хорошего прохождения сверхтоков, все соединения от молниеотвода до заземлителей желательно скреплять сваркой, а для предупреждения коррозии покрывать грунтовкой и эмалью.

Заключение

В данной бакалаврской работе реконструирована электрическая часть п/ст 89 – РУ 6 кВ.

Произведен анализ о нецелесообразной его дальнейшей эксплуатации, отметили недостатки, что дало нам представление о не лучшей надёжности, безопасности и большим неудобством в эксплуатации маломасляных выключателей типа ВМПЭ.

Сравнил старые маломасляные с выбранными на место старых выключателями. Составил расчётные схемы, произвёл по ним расчёты симметричных и несимметричных коротких замыканий. Расчёт токов короткого замыкания производил в относительных единицах, после перевода в именованные.

По результатам данных расчета были предварительно определены марка вакуумного высоковольтного выключателя серии ВВ/TEL , и проверены по классической методике выбора электрооборудования в электроустановках свыше 1000. После чего были выбраны вакуумные выключатели ВВ/TEL – 10 серии Shell, тип 113 с номинальным током 630 А.

Так же по тем же расчётным данным были выбраны кабели марки ВВГ – $3 \times 35 \text{ мм}^2$ питающие высоковольтные электродвигатели.

Разработаны чертежи принципиальной схемы подстанции, план разрез ячеек КРУ до и после реконструкции, учитывающие полное соответствие принятым конструктивным решениям.

В результате выполнения ВКР выполнены все запланированные задачи и достигнута цель бакалаврского проекта.

Список используемых источников

1. Киреева, Э. А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебник для ВУЗов / Э. А. Киреева, С. А. Цырук; Москва: 2010 – 288 с.
2. Ернс, А. Д. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: курс лекций / А. Д. Ернс - М. : Изд. НГГУ, 2009. - 199 с.
3. Рожин, А. Н. Внутрицеховое электроснабжение: учебное пособие / А. Н. Рожин, Н. С. Бакшаева. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 258 с.
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. - М.: Энергия, 2012. - 108 с.
5. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник / Л. Д. Рожкова, Т. В. Карнеева, Т. В. Чиркова, - М.: Академия, 2013. - 448 с.
6. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98 / под науч-й ред. Б.Н. Неклепаева. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. - 143 с.
7. Кудрин, Б. И. Электроснабжение: учебник для студентов учреждений выс. проф. образования / Б. И. Кудрин – М. : изд. ц. Академия, 2012. – 2-е изд., перераб и доп. – 352 с. – (Сер. Бакалавриат).
8. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: справочное пособие / В. П. Шевцов - М.: Инфра-М, 2014. - 136 с.
9. Конюхова, Е.А. Электроснабжение: Учебник / Е. А. Конюхова - М.: МЭИ, 2014. - 512 с.
10. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. Н. Неклепаев; СПб: БХВ-Петербург, 2013. - 608 с.

11. Шабад, В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебное пособие. - М.: Академия - 2013. - 192 с.
12. Киреева, Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: Учебник / Э.А. Киреева, С.А. Цырук - М.: Академия - 2014. - 288 с.
13. Вахнина, В. В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования / В. В. Вахнина, А.Н. Черненко – Тольятти: ТГУ, 2007.
15. Крылов, Ю. А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города: Частотно-регулируемый электропривод: учеб. пособие / Ю. А. Крылов, А. С. Карандаев, В. Н. Медведев. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 176 с.
16. Коробов, Г. В. Электроснабжение: учеб. пособие для вузов / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - Изд. 3-е, испр. и доп. ; гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 191 с.
17. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебная литература для ВУЗов: учеб. пособие для вузов / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М: Энергоатомиздат, 2013. – 608 с.
18. Абрамова, Е. Я. Переходные процессы в электроэнергетических системах: методические указания / Е. Я. Абрамова; М-во образования и науки РФ, фед. гос. бюджет. образовательное учреждение выс. проф. образования Оренбург. гос. ун-т, каф. «электроснабжения пром. Предприятий». - Оренбург : ОГУ. - 2013. - 66 с.
19. <http://elteh.ru> – Производственное объединение «ЭЛТЕХНИКА»
20. <http://e-tmm.ru> – Производственно – торговая компания «Энерготехмонтаж».
21. Корощенко, А. В. Учебное пособие для проведения практических занятий по англ. яз. Научных и технических профессий для направления

подготовки «Электротехника и электротехнологии» / А. В. Корощенко, О. И. Куксина; часть 2 – Донецк: ДонНТУ, 2014. – 235с.

22. <http://tavrida.eu> – Многонациональная промышленная группа «Tavrida Electric»

23. Khorashadi-Zadeh H., Sanaye-Pasand M. Correction of saturated current transformers secondary current using ANNs, IEEE Trans. Power Delivery, 2006. – 21(1). – P.73–79.

24. Belkhat, M.; Edwards, J.; Hoonchareon, N.; Marte, O.; Stenberg, D.; and Walters, E., "Transients in Power Systems" (1995). ECE Technical Reports. Paper 168.

25. www.cscanada.net - Capacitor Banks Switching Transients in Power Systems: Energy Science and Technology - Vol. 2, No. 2, 2011, pp. 62-73