

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Цифровые технологии в электроэнергетике

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Реконструкция системы релейной защиты автотрансформатора 220/110 кВ с
применением микропроцессорной защиты

Обучающийся

А.А. Фисенко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Егорова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Темой ВКР является «Реконструкция системы релейной защиты автотрансформатора 220/110 кВ с применением микропроцессорной защиты».

Цель работы: повышение надежности работы автотрансформатора, а также показателей чувствительности и селективности срабатывания релейной защиты.

Достижение цели заключается в разрешении перечня задач, а именно:

- расчет нагрузок электропотребителей;
- выбор силовых трансформаторов и воздушных линий, расчет электрических потерь;
- расчет токов КЗ;
- выбор силового защитно-коммутационного электрооборудования;
- расчет релейной защиты и автоматики;
- расчет заземления, вычисление технических данных для установки молниеприемников.

ВКР содержит 45 страниц, 10 таблиц, 4 рисунка, шесть чертежей, выполненных на форматах листа А1.

Abstract

The topic of the final qualifying work is "Reconstruction of the relay protection system of the 220/110 kV autotransformer using microprocessor protection".

The aim of the work: to increase the reliability of the autotransformer, as well as the sensitivity and selectivity of the relay protection operation.

Achieving the goal consists in solving a number of problems, namely:

- calculation of loads of electrical consumers;
- selection of power transformers and overhead lines, calculation of electrical losses;
- calculation of short-circuit currents;
- selection of power protective and switching electrical equipment;
- calculation of relay protection and automation;
- calculation of grounding, decision-making on the installation of lightning rods.

The final qualifying work contains 45 pages, 10 tables, 4 figures, six drawings, executed on A1 sheet formats.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ ситуации и расчет электрических нагрузок.....	6
1.1 Анализ действующей схемы релейной защиты.....	6
1.2 Анализ питаемых потребителей.....	6
1.3 Расчет электрических нагрузок.....	7
2 Выбор оборудования.....	14
2.1 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, компенсирующих устройств, построение картограммы электрических нагрузок.....	14
2.2 Схема электроснабжения.....	22
2.3 Расчет токов КЗ и выбор коммутационного оборудования.....	26
3 Расчет релейной защиты и автоматики.....	37
4 Расчет заземления и молниезащиты.....	40
Заключение.....	42
Список используемых источников.....	43

Введение

Основная функция силового электрооборудования подстанций (ПС) заключается в поддержании стабильной и безопасной работы энергетической системы.

Рассматриваемая ПС осуществляет питание множество потребителей различного назначения. В связи с этим, необходимо проектирование системы электроснабжения для обеспечения безаварийной и надежной работы ПС.

Не маловажную роль играет также выбор устройств релейной защиты и автоматики. Правильный расчет и выбор релейной защиты и автоматики необходим для своевременного и направленного действия на возникающие повреждения и нарушения режима работы. Наиболее современным решением является применение микропроцессорных терминалов.

Цель ВКР состоит в следующем: повышение надежности работы автотрансформатора, а также показателей чувствительности и селективности срабатывания релейной защиты.

«Электрические сети предприятий должны обеспечивать:

- надежность электроснабжения;
- качество передаваемой электроэнергии;
- безопасность электротехнического и неэлектротехнического персонала при эксплуатации сетей и электроустановок;
- экономичность, т.е. снижение затрат при сооружении и эксплуатации сетей и установок;
- снижение потерь электроэнергии в сетях;
- экологичность, т.е. отсутствие вредного влияния на окружающую среду» [22].

Исходные данные реконструируемой ПС 220/110 кВ следующие: нагрузки зданий и сооружения, питаемых от реконструируемой ПС 220/110 кВ, а также план размещения потребителей.

1 Анализ ситуации и расчет электрических нагрузок

1.1 Анализ действующей схемы релейной защиты

На рассматриваемой ПС 220/110 кВ используется релейная защита, построенная на базе электромеханических реле.

Несмотря на простоту, наглядность и низкую стоимость, релейная защита с применением электромеханических реле имеет следующие недостатки:

- износ механических узлов в ходе эксплуатации;
- большое количество резервных реле;
- применение открытых токовых цепей, которые снижают электробезопасность;
- ремонт и замена элементов защиты, корректировка уставок требует соблюдения требований безопасности;
- большие габариты.

Микропроцессорная защита исключает вышеперечисленные недостатки, а также позволяет упростить эксплуатацию следующим образом:

- функция памяти дает возможность ведения записи событий, происходящих в рассматриваемом участке электрической цепи;
- построение осциллограмм переходных процессов, позволяющих упростить анализ изменений параметров цепи.

В соответствии с этим, необходимо провести реконструкцию системы релейной защиты рассматриваемой ПС 220/110 кВ.

1.2 Анализ питаемых потребителей

С помощью реконструируемой ПС 220/110 кВ осуществляется электроснабжение следующих промышленных потребителей:

- «фабрика по производству хлебобулочных изделий»;

- завод по производству строительных материалов;
- предприятие по производству молочной продукции;
- больница и учреждения здравоохранения;
- завод по производству деталей и металлоконструкций;
- фабрика по изготовлению напитков;
- предприятие по изготовлению химической продукции;
- речной порт» [19].

«Также помимо промышленных потребителей осуществляется электроснабжение административных, общественных и жилых зданий и сооружений:

- школа;
- детский сад;
- торгово-развлекательный центр;
- жилой микрорайон;
- отель и акватормальный комплекс;
- здание парковки транспортных средств и гаражи;
- административно-офисное здание» [19].

Поскольку вышеперечисленные потребители в подавляющем большинстве относятся к первой и второй категориям надежности, на ПС 220/110 кВ предусматривается использование двух силовых трансформаторов.

1.3 Расчет электрических нагрузок

Расчет нагрузок проведем методом коэффициента спроса [14].
 Параметры потребителей приведены в таблице 1.

«Активная и реактивная расчетные силовые нагрузки:

$$P_p = K_c \cdot P_y, \quad (1)$$

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

где P_y – суммарная установленная активная мощность всех электроприемников, кВт;

K_c – коэффициент спроса;

$tg\varphi$ – средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности, найденное из справочного значения коэффициента мощности $cos\varphi$ » [14].

«Расчетная активная нагрузка освещения здания:

$$P_{p.o} = K_{c.o} \cdot P_{y.o}, \quad (3)$$

где $P_{p.o}$ – установленная мощность осветительных электроприемников, кВт;

$K_{c.o}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки» [14],[22].

«Номинальная осветительная нагрузка:

$$P_{p.o} = S \cdot P_{y.o}, \quad (4)$$

где $P_{y.o}$ – удельная осветительная нагрузка (0,013 кВт/м²);

S – площадь здания, м²» [4],[6],[16].

Расчеты нагрузок внесены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1 – Расчет силовой и осветительной нагрузок

Наименование	Силовое оборудование						Освещение						
	P_y	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p	Q_p	F	$P_{y.o}$	$K_{c.o}$	$\cos\varphi_o$	$\operatorname{tg}\varphi_o$	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$
	кВт	–	–	–	кВт	квар	м ²	кВт	–	–	–	кВт	квар
Школа	210	0,87	0,92	0,43	182,7	78,6	3250	42,25	0,86	0,94	0,36	36,34	13,08
Фабрика по производству хлебобулочных изделий	37130	0,68	0,52	1,64	25248,4	41407,4	41410	538,33	0,86	0,94	0,36	462,96	166,67
Завод по производству строительных материалов	12510	0,62	0,62	1,27	7756,2	9850,4	68770	894,01	0,86	0,94	0,36	768,85	276,79
Предприятие по производству молочной продукции	25610	0,62	0,57	1,44	15878,2	22864,6	24850	323,05	0,86	0,94	0,36	277,82	100,02
Детский сад	810	0,47	0,77	0,83	380,7	316,0	65350	849,55	0,61	0,95	0,33	518,23	171,02
Больница и учреждения здравоохранения	1010	0,92	0,97	0,25	929,2	232,3	20350	264,55	0,91	0,93	0,40	240,74	96,30
Торгово-развлекательный центр	3010	0,82	0,92	0,43	2468,2	1061,3	27730	360,49	0,91	0,93	0,40	328,05	131,22

Продолжение таблицы 1

Наименование	Силовое оборудование						Освещение						
	P_y	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p	Q_p	F	$P_{y.o}$	$K_{c.o}$	$\cos\varphi_o$	$\operatorname{tg}\varphi_o$	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$
	кВт	—	—	—	кВт	квар	м ²	кВт	—	—	—	кВт	квар
Жилой микрорайон	4210	0,92	0,97	0,25	3873,2	968,3	42130	547,69	0,91	0,93	0,40	498,40	199,36
Отель и акватормальный комплекс	4720	0,52	0,67	1,11	2454,4	2724,4	25750	334,75	0,86	0,94	0,36	287,89	103,64
Здание парковки транспортных средств и гаражи	1510	0,42	0,62	1,27	634,2	805,4	27010	351,13	0,61	0,95	0,33	214,19	70,68
Завод по производству деталей и металлоконструкций	37130	0,68	0,52	1,64	25248,4	41407,4	40780	530,14	0,91	0,93	0,40	482,43	192,97
Фабрика по изготовлению напитков	12210	0,62	0,67	1,11	7570,2	8402,9	77230	1003,99	0,91	0,93	0,40	913,63	365,45
Предприятие по изготовлению химической продукции	32210	0,64	0,72	0,96	20614,4	19789,8	44560	579,28	0,91	0,93	0,40	527,14	210,86
Административно- офисное здание	2510	0,77	0,77	0,83	1932,7	1604,1	14410	187,33	0,86	0,94	0,36	161,10	58,00
Речной порт	6010	0,77	0,77	0,83	4627,7	3841,0	14410	187,33	0,61	0,95	0,33	114,27	37,71
—	180800	0,662605	0,61	1,30	119799	155353,9	537990	6994	0,83	0,93	0,38	5832,04	2193,77

Таблица 2 – Расчетные электрические нагрузки

Наименование	Силовое оборудование		Освещение		Расчетная нагрузка		
	P_p	Q_p	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	$Q_{p\Sigma}$	$S_{p\Sigma}$
	кВт	квар	кВт	квар	кВт	квар	кВА
Школа	182,7	78,6	36,34	13,08	219,04	91,68	237,45
Фабрика по производству хлебобулочных изделий	25248,4	41407,4	462,96	166,67	25711,36	41574,07	48882,28
Завод по производству строительных материалов	7756,2	9850,4	768,85	276,79	8525,05	10127,19	13237,69
Предприятие по производству молочной продукции	15878,2	22864,6	277,82	100,02	16156,02	22964,62	28078,30
Детский сад	380,7	316,0	518,23	171,02	898,93	487,02	1022,38
Больница и учреждения здравоохранения	929,2	232,3	240,74	96,30	1169,94	328,60	1215,21
Торгово-развлекательный центр	2468,2	1061,3	328,05	131,22	2796,25	1192,52	3039,92

Продолжение таблицы 2

Наименование	Силовое оборудование		Освещение		Расчетная нагрузка		
	P_p	Q_p	$P_{p.o}$	$Q_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	$Q_{p\Sigma}$	$S_{p\Sigma}$
	кВт	квар	кВт	квар	кВт	квар	кВА
Жилой микрорайон	3873,2	968,3	498,40	199,36	4371,60	1167,66	4524,86
Отель и акваториальный комплекс	2454,4	2724,4	287,89	103,64	2742,29	2828,04	3939,28
Здание парковки транспортных средств и гаражи	634,2	805,4	214,19	70,68	848,39	876,08	1219,54
Завод по производству деталей и металлоконструкций	25248,4	41407,4	482,43	192,97	25730,83	41600,37	48914,89
Фабрика по изготовлению напитков	7570,2	8402,9	913,63	365,45	8483,83	8768,35	12200,79
Предприятие по изготовлению химической продукции	20614,4	19789,8	527,14	210,86	21141,54	20000,66	29103,11
Административно-офисное здание	1932,7	1604,1	161,10	58,00	2093,80	1662,10	2673,31
Речной порт	4627,7	3841,0	114,27	37,71	4741,97	3878,71	6126,23
—	119799	155353,90	5832,04	2193,77	125630,84	157547,67	201505,28

«Расчетная реактивная нагрузка осветительных приёмников:

$$Q_{p.o} = Q_{p.o} \cdot tg\varphi. \quad (5)$$

Расчетная полная мощность силовой и осветительной нагрузки:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2}. \quad (6)$$

Итоговая расчетная мощность необходима для выбора силовых трансформаторов ПС 220/110 кВ» [16],[23].

Выводы по разделу

Полная мощность, передаваемая рассматриваемой ПС 220/110 кВ в результате расчетов, составляет 202 МВА. Активная мощность составляет 126 МВт, соответственно коэффициент мощности равен 0,61. Теперь требуется мощность трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.

2 Выбор оборудования

2.1 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, компенсирующих устройств, построение картограммы электрических нагрузок

«С целью определения места расположения главного распределительного пункта (ГРП) строим картограмму электрических нагрузок. Картограмма представляет собой размещение на генплане завода окружностей, являющиеся расчетными активными нагрузками. Радиусы окружности для каждого круга, размещенные по координатам x и y , представлены в таблице 3:

$$r = \sqrt{\frac{P_{\Sigma}}{\pi m}}. \quad (7)$$

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) принимается совпадающим с центром тяжести района, нагрузка – равномерно распределенной по площади района. Доля осветительной нагрузки показывается в виде сектора. Угол сектора:

$$\alpha_{\tau} = \frac{P_{p.o}}{P_{\Sigma}} \cdot 360^{\circ}. \quad (8)$$

Площадь окружностей соответствует масштабу: $m = 0,7 \text{ кВт/мм}^2$ » [13].

Таблица 3 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

Потребитель	$P_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	r	α_t	x	y
	кВт	кВт	мм	%	м	м
Школа	36,34	219,04	3,16	59,73	100	3350

Продолжение таблицы 3

Потребитель	$P_{p.o}$	$P_{p\Sigma}$	r	a_t	x	y
	кВт	кВт	мм	%	м	м
Фабрика по производству хлебобулочных изделий	462,96	25711,36	34,19	6,48	760	2750
Завод по производству строительных материалов	768,85	8525,05	19,69	32,47	2400	2860
Предприятие по производству молочной продукции	277,82	16156,02	27,10	6,19	3390	2940
Детский сад	518,23	898,93	6,39	207,54	4460	3090
Больница и учреждения здравоохранения	240,74	1169,94	7,29	74,08	90	2180
Торгово-развлекательный центр	328,05	2796,25	11,28	42,23	1310	2030
Жилой микрорайон	498,40	4371,60	14,10	41,04	2610	2020
Отель и акватормальный комплекс	287,89	2742,29	11,17	37,79	4450	1760
Здание парковки транспортных средств и гаражи	214,19	848,39	6,21	90,89	160	800
Завод по производству деталей и металлоконструкций	482,43	25730,83	34,21	6,75	1010	1100
Фабрика по изготовлению напитков	913,63	8483,83	19,64	38,77	2610	1120
Предприятие по изготовлению химической продукции	527,14	21141,54	31,01	8,98	3630	800
Административно-офисное здание	161,10	2093,80	9,76	27,70	4420	1140
Речной порт	114,27	4741,97	14,68	8,68	4420	560
—	5832,04	125630,84	—	—	—	—

Определим напряжение для электроснабжения потребителей по формуле Вейкерта:

$$U = 3\sqrt{S_k} + 0,5l, \quad (9)$$

$$U = 3\sqrt{201505,28} + 0,5 \cdot 140 = 112,59 \text{ кВ.}$$

«Принимаем напряжение 110 кВ. Теперь необходимо определить места расположения трансформаторных подстанций (ТП).

На основании координат и нагрузок находим координаты ЦЭН:

$$x_0 = \frac{S_{p\Sigma} \cdot x}{S_{p\Sigma}}, \quad (10)$$

$$y_0 = \frac{S_{p\Sigma} \cdot y}{S_{p\Sigma}}, \quad (11)$$

где x_0, y_0 – координаты центра нагрузок завода и отдельных ПС, м;

x и y – координаты центра нагрузок отдельного потребителя, м;

$S_{p\Sigma}$ – расчетная нагрузка отдельного потребителя, кВА.

Поскольку при компенсации реактивной мощности изменяется полная мощность, проведем расчет компенсирующих устройств.

«Выбранные конденсаторные батареи представлены в таблице 4» [9].

Полная мощность с учетом компенсации реактивной мощности определяется по формуле:

$$S'_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + (Q_{p\Sigma} - Q_{УКРМ})^2}. \quad (12)$$

Мощность трансформатора:

$$S_{тр} = \frac{S'_p}{n_{тр} \cdot k_3}. \quad (13)$$

Поскольку полученные значения координат x и y ТП отражают их размещение внутри зданий, то скорректируем координаты x_ϕ и y_ϕ на ближайшие возможные и внесем их в таблицу 4» [14].

Таблица 4 – Расчет ЦЭН ТП

Потребитель	P_p	Q_p	$Q_{УКРМ}$	S'_p	$S_{тр}$	$n_{тр}$	k_3	x	y	x_ϕ	y_ϕ
	кВт	квар	квар	кВА	кВА	шт	—	м	м	м	м
ТП-110.2.1	11898,64	14085,02	7000	11898,64	10000	2	0,59	811	2536	730	2560
Школа	219,04	91,68	—	—	—	—	—	100	3350	—	—
Фабрика по производству хлебобулочных изделий (часть)	7713,41	12472,22	—	—	—	—	—	760	2750	—	—
Завод по производству строительных материалов	1169,94	328,60	—	—	—	—	—	90	2180	—	—
Торгово-развлекательный центр	2796,25	1192,52	—	—	—	—	—	1310	2030	—	—
ТП-110.2.2	12855,68	20787,04	10000	12855,71	10000	2	0,64	760	2750	960	2560
Фабрика по производству хлебобулочных изделий (часть)	12855,68	20787,04	—	—	—	—	—	760	2750	—	—

Продолжение таблицы 4

Потребитель	P_p	Q_p	$Q_{УКРМ}$	S'_p	$S_{тр}$	$n_{тр}$	k_3	x	y	x_ϕ	y_ϕ
	кВт	квар	квар	кВА	кВА	шт	—	м	м	м	м
ТП-110.2.3	5142,27	8314,81	4000	5142,30	4000	2	0,64	760	2750	1190	2560
Фабрика по производству хлебобулочных изделий (часть)	5142,27	8314,81	—	—	—	—	—	760	2750	—	—
ТП-110.2.4	8525,05	10127,19	5000	8525,06	6300	2	0,68	2400	2860	2420	2560
Завод по производству строительных материалов	8525,05	10127,19	—	—	—	—	—	2400	2860	—	—
ТП-110.2.5	14065,21	14946,43	7000	14065,24	10000	2	0,70	3148	2654	3290	2560
Предприятие по производству молочной продукции (часть)	9693,61	13778,77	—	—	—	—	—	3390	2940	—	—
Жилой микрорайон	4371,60	1167,66	—	—	—	—	—	2610	2020	—	—
ТП-110.2.6	10103,63	12500,91	6000	10103,65	6300	2	0,80	3773	2633	3480	2560
Предприятие по производству молочной продукции (часть)	6462,41	9185,85	—	—	—	—	—	3390	2940	—	—

Продолжение таблицы 4

Потребитель	P_p	Q_p	$Q_{УКРМ}$	S'_p	$S_{тр}$	$n_{тр}$	k_3	x	y	x_ϕ	y_ϕ
	кВт	квар	квар	кВА	кВА	шт	—	м	м	м	м
Детский сад	898,93	487,02	—	—	—	—	—	4460	3090	—	—
Отель и акватермальный комплекс	2742,29	2828,04	—	—	—	—	—	4450	1760	—	—
ТП-110.2.7	9425,33	14742,87	7000	9425,37	6300	2	0,75	933	1073	960	1290
Завод по производству деталей и металлоконструкций (часть)	8576,94	13866,79	—	—	—	—	—	1010	1100	—	—
Здание парковки транспортных средств и гаражи	848,39	876,08	—	—	—	—	—	160	800	—	—
ТП-110.2.8	8576,94	13866,79	6500	8576,99	6300	2	0,68	1010	1100	1190	1290
Завод по производству деталей и металлоконструкций (часть)	8576,94	13866,79	—	—	—	—	—	1010	1100	—	—
ТП-110.2.9	8576,94	13866,79	6500	8576,99	6300	2	0,68	1010	1100	1420	1290
Завод по производству деталей и металлоконструкций (часть)	8576,94	13866,79	—	—	—	—	—	1010	1100	—	—

Продолжение таблицы 4

Потребитель	P_p	Q_p	$Q_{УКРМ}$	S'_p	$S_{тр}$	$n_{тр}$	k_3	x	y	x_ϕ	y_ϕ
	кВт	квар	квар	кВА	кВА	шт	—	м	м	м	м
ТП-110.2.10	8483,83	8768,35	4000	8483,88	6300	2	0,67	2610	1120	2430	1330
Фабрика по изготовлению напитков	8483,83	8768,35	—	—	—	—	—	2610	1120	—	—
ТП-110.2.11	14094,36	10000,33	5000	14094,36	10000	2	0,70	3630	800	3630	1330
Предприятие по изготовлению химической продукции (часть)	14094,36	10000,33	—	—	—	—	—	3630	800	—	—
ТП-110.2.12	13882,95	12207,70	6000	13882,96	10000	2	0,69	4019	769	3900	880
Предприятие по изготовлению химической продукции (часть)	7047,18	6666,89	—	—	—	—	—	3630	800	—	—
Административно- офисное здание	2093,80	1662,10	—	—	—	—	—	4420	1140	—	—
Речной порт	4741,97	3878,71	—	—	—	—	—	4420	560	—	—

«Аналогичные расчеты проведем для расчета ГПП. Результаты представлены в таблице 5» [21].

Таблица 5 – Расчет ЦЭН ПС 220/110 кВ

Наименование	Тип	$S_{тр}$	U	P_p	Q_p	x	y	$n_{тр}$	k_3
		МВА	кВ	кВт	квар	м	м	шт	–
ГПП-220.3.1	АТДЦТН	125	220/110	125630,83	154214,23	2281	1885	2	0,50
ТП-110.2.1	ТДН	10	110/10	11898,64	14085,02	730	2560	2	0,59
ТП-110.2.2	ТДН	10		12855,68	20787,04	960	2560	2	0,64
ТП-110.2.3	ТМН	4		5142,27	8314,81	1190	2560	2	0,64
ТП-110.2.4	ТМН	6,3		8525,05	10127,19	2420	2560	2	0,68
ТП-110.2.5	ТДН	10		14065,21	14946,43	3290	2560	2	0,70
ТП-110.2.6	ТМН	6,3		10103,63	12500,91	3480	2560	2	0,80
ТП-110.2.7	ТМН	6,3		9425,33	14742,87	960	1290	2	0,75
ТП-110.2.8	ТМН	6,3		8576,94	13866,79	1190	1290	2	0,68
ТП-110.2.9	ТМН	6,3		8576,94	13866,79	1420	1290	2	0,68
ТП-110.2.10	ТМН	6,3		8483,83	8768,35	2430	1330	2	0,67
ТП-110.2.11	ТДН	10		14094,36	10000,33	3630	1330	2	0,70
ТП-110.2.12	ТДН	10		13882,95	12207,70	3900	880	2	0,69

«Теперь необходимо выбрать схему электроснабжения потребителей» [21].

2.2 Схема электроснабжения

Упрощенная схема электроснабжения потребителей ПС 220/110 кВ представлена на рисунке 1.

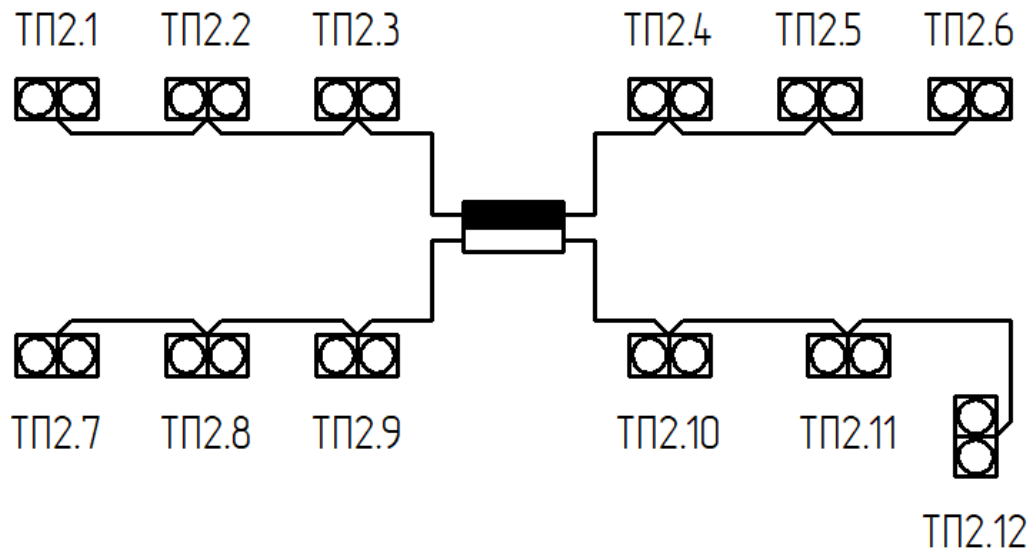


Рисунок 1 – Упрощенная схема электроснабжения потребителей ПС 220/110 кВ

«Расчет токов, возникающих в нормальном и аварийном режимах:

$$I_p = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3}U \cdot n}, \quad (14)$$

где n – количество линий» [12].

«Сечение воздушной линии:

$$F_p = \frac{I}{j_{\text{эк}}}, \quad (15)$$

где I – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36» [12].

«Для выбранной марки линии $j_{\text{эк}} = 1,6 \text{ А/мм}^2$, поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5000 часов» [12].

«Понижение напряжения у потребителя по сравнению с нормальным сказывается на работе токоприемника, будь то силовая или осветительная нагрузка. Поэтому при расчете любой линии электропередачи отклонения напряжений не должны превышать допустимых норм, сети, выбранные по току нагрузки и рассчитанные на нагрев, как правило, проверяют по потере напряжения» [3].

«Потери напряжения в линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_n} l, \quad (16)$$

где r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление, Ом/км;

l – длина, км;

P, Q – активная и реактивная мощность» [13].

Результаты расчетов токов и потерь схемы электроснабжения потребителей представлены в таблицах 6 и 7 соответственно [20].

Таблица 6 – Токи схемы электроснабжения потребителей

Линия	$n_{ВЛ}$	P_p	Q_p	S_p	I_p	$I_{па}$	F_p	F_H	$I_{спр}$	$I_{др}$	$I_{д.па}$
		кВт	квар	кВА	А	А	мм ²	мм ²	А	А	А
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.3	1	29896,59	43186,87	52525,34	275,69	551,38	172,31	150	434	338,59	380,91
ТП-110.2.3 - ТП-110.2.2	1	24754,32	34872,06	42764,90	224,46	448,92	140,29	150	434	338,59	380,91
ТП-110.2.2 - ТП-110.2.1	1	11898,64	14085,02	18438,15	96,78	193,56	60,49	70	245	191,14	215,03
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.4	1	22590,26	25073,62	33749,17	177,14	354,28	110,71	120	367	286,32	322,11
ТП-110.2.4 - ТП-110.2.5	1	24168,84	27447,34	36571,70	191,95	383,90	119,97	120	367	286,32	322,11
ТП-110.2.5 - ТП-110.2.6	1	10103,63	12500,91	16073,46	84,36	168,72	52,73	70	245	191,14	215,03
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.9	1	26579,21	42476,45	50106,92	262,99	525,98	164,37	150	434	338,59	380,91
ТП-110.2.9 - ТП-110.2.8	1	18002,27	28609,66	33802,28	177,42	354,84	110,89	120	367	286,32	322,11
ТП-110.2.8 - ТП-110.2.7	1	9425,33	14742,87	17498,26	91,84	183,68	57,40	70	245	191,14	215,03
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.10	1	36461,14	30976,38	47842,98	251,11	502,22	156,94	150	434	338,59	380,91
ТП-110.2.10 - ТП-110.2.11	1	27977,31	22208,03	35720,11	187,48	374,96	117,18	120	367	286,32	322,11
ТП-110.2.11 - ТП-110.2.12	1	13882,95	12207,70	18486,87	97,03	194,06	60,64	70	245	191,14	215,03

Таблица 7 – Потери напряжения

КЛ	$n_{ВЛ}$	P_p	Q_p	S_p	F_H	r_i	x_i	l	ΔU_p	$\Delta U_{па}$
		кВт	квар	кВА	мм ²	Ом/км	Ом/км	м	%	%
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.3	2	29896,59	43186,87	52525,34	95	0,032	0,074	1766	3,33%	6,66%
ТП-110.2.3 - ТП-110.2.2	1	24754,32	34872,06	42764,90	150	0,020	0,071	230	0,62%	1,24%
ТП-110.2.2 - ТП-110.2.1	1	11898,64	14085,02	18438,15	70	0,043	0,076	230	0,33%	0,66%
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.4	1	22590,26	25073,62	33749,17	120	0,025	0,073	814	1,77%	3,54%
ТП-110.2.4 - ТП-110.2.5	1	24168,84	27447,34	36571,70	120	0,025	0,073	870	2,06%	4,12%
ТП-110.2.5 - ТП-110.2.6	1	10103,63	12500,91	16073,46	70	0,043	0,076	190	0,24%	0,48%
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.9	1	26579,21	42476,45	50106,92	150	0,020	0,071	1456	4,70%	9,40%
ТП-110.2.9 - ТП-110.2.8	1	18002,27	28609,66	33802,28	120	0,025	0,073	230	0,53%	1,06%
ТП-110.2.8 - ТП-110.2.7	1	9425,33	14742,87	17498,26	70	0,043	0,076	230	0,32%	0,64%
ГРП-110.3.1 - ТП-110.2.10	1	36461,14	30976,38	47842,98	150	0,020	0,071	704	1,87%	3,74%
ТП-110.2.10 - ТП-110.2.11	1	27977,31	22208,03	35720,11	120	0,025	0,073	1200	2,53%	5,06%
ТП-110.2.11 - ТП-110.2.12	1	13882,95	12207,70	18486,87	70	0,043	0,076	720	1,00%	2,00%

Из таблиц видно, что потери напряжения в воздушных линиях не превышают допустимые (5%) и предельно-допустимые (10%).

2.3 Расчет токов КЗ и выбор коммутационного оборудования

Составим схему замещения и нанесем точки КЗ на рисунок 2.

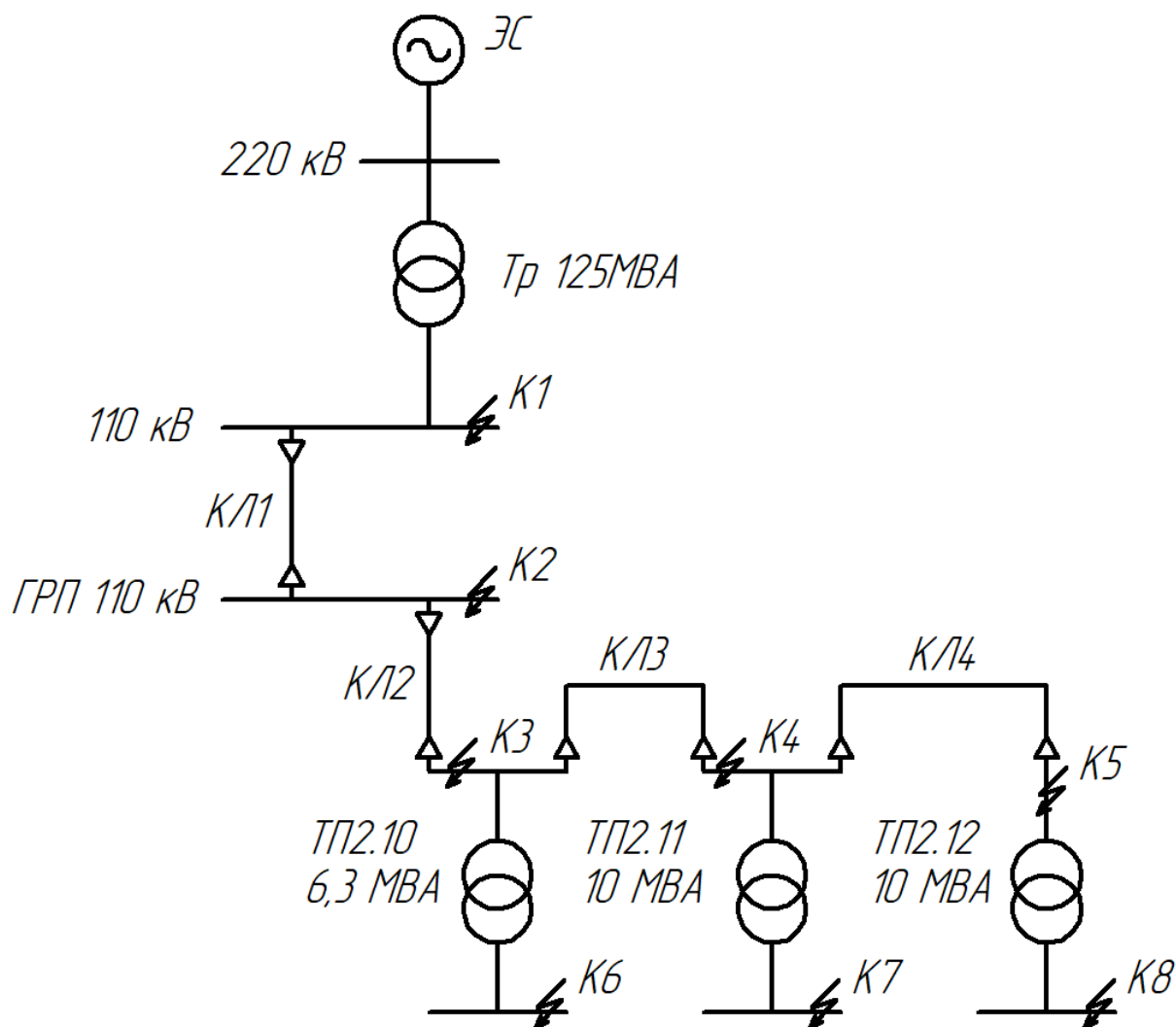


Рисунок 2 – Расчетная схема

В соответствии с расчетной схемой составим схему замещения и представим на рисунке 3.

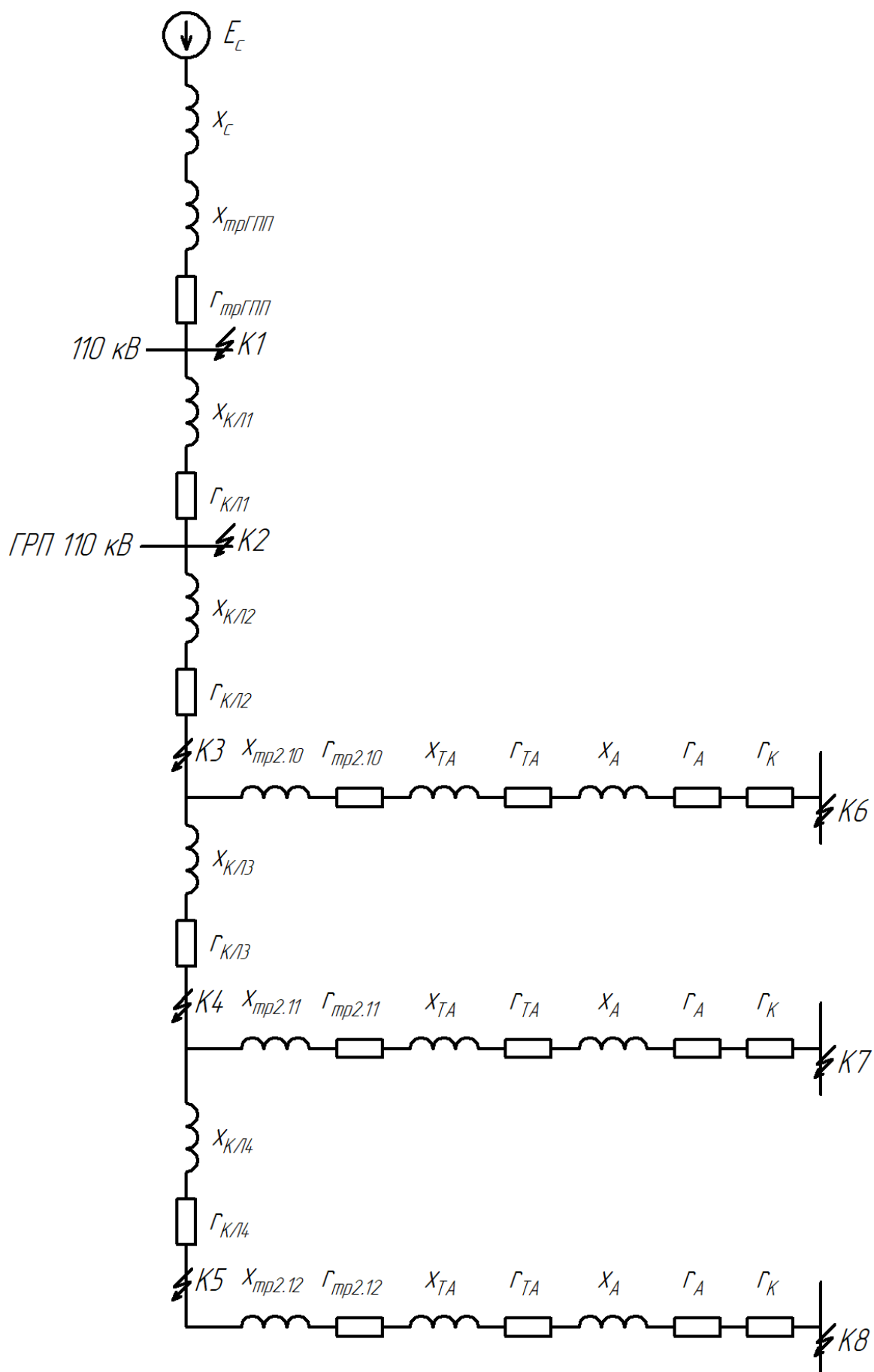


Рисунок 3 – Схема замещения СЭС

«Проведем расчет в относительных единицах» [19].

«Сопротивление силового трансформатора базисное в относительных единицах:

$$x_{*тр(б)} = \frac{u_k \% \cdot S_б}{100 \cdot S_{тр}}. \quad (17)$$

Сопротивление линии базисное в относительных единицах:

$$x_{*л(б)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_H^2}. \quad (18)$$

где U_H – напряжение рассматриваемого участка цепи, кВ.

Расчет активных сопротивлений с использованием перерасчета реактивных сопротивлений.

Базисный ток ступени:

$$I_{*б} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (19)$$

Полный сверхпереходный ток:

$$I'' = I_{*(б)}'' \cdot I_{*б} = \frac{E_{*(б)}}{x_{*\Sigma}} \cdot I_{*б}. \quad (20)$$

Рассчитаем токи в именованных единицах на стороне до 1 кВ» [2],[5].

«Сопротивление линии:

$$x_л = x_0 \cdot l, \quad (21)$$

$$r_л = r_0 \cdot l. \quad (22)$$

Сопротивления трансформатора» [2]:

$$r_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{тр}}^2} \cdot 10^6, \quad (23)$$

$$x_{\text{тр}} = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{кз}}}{S_{\text{тр}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{т}}} \cdot 10^4. \quad (24)$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей:

$$I_{\text{н0}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2)}}. \quad (25)$$

Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей тока КЗ:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} \right). \quad (26)$$

Время от начала КЗ до появления ударного тока:

$$t_{\text{уд}} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi}{\pi}. \quad (27)$$

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ:

$$T_{\text{а}} = \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma} \cdot \omega_c}. \quad (28)$$

Ударный коэффициент:

$$K_{уд} = \left(1 + \sin\varphi \cdot e^{\frac{-t_{уд}}{T_a}} \right). \quad (29)$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I''. \quad (30)$$

Результаты расчетов токов КЗ представлены в таблице 8» [2]. На их основе далее будет обоснован выбор токоведущих элементов и коммутационных аппаратов по рабочему току и предельной коммутационной способности.

Поскольку реконструкция осуществляется для ПС 220/110 кВ, то на стороне ниже 1 кВ расчет токов КЗ не требуется.

Таблица 8 – Расчет токов КЗ

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	S	l	u_k	$r^{*(6)}$	$x^{*(6)}$	I''	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$
		кВ	МВА	м	%	о.е.	о.е.	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	—	кА
$U_H = 230$ кВ и 115 кВ													
К-1	Система	230	8000	—	—	0,003	0,125	—	—	—	—	—	—
	ВЛ от системы до ГПП	230	—	140000	—	0,199	0,794	—	—	—	—	—	—
	Трансформатор	230/115	125	—	3	0,014	0,240	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	115	—	—	—	0,216	1,159	4,258	271,969	1,387	9,415	1,950	11,742
$U_H = 115$ кВ													
К-2	ВЛ от ГПП до ГРП	115	—	80000	—	0,454	1,815	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	115	—	—	—	0,670	2,974	1,647	224,987	1,349	9,294	1,936	4,509
К-3	ВЛ от ГРП3.1 до ТП2.10	115	—	704	—	0,004	0,016	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	115	—	—	—	0,674	2,990	1,638	224,855	1,349	9,294	1,936	4,485
К-4	ВЛ от ТП2.10 до ТП2.11	115	—	1200	—	0,007	0,027	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	115	—	—	—	0,681	3,017	1,623	224,553	1,349	9,294	1,936	4,444

Продолжение таблицы 8

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	S	l	u_k	$r^{*(б)}$	$x^{*(б)}$	I''	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$
		кВ	МВА	м	%	о.е.	о.е.	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	—	кА
$U_H = 115$ кВ													
К-5	ВЛ от ТП2.11 до ТП2.12	115	—	720	—	0,004	0,016	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	115	—	—	—	0,685	3,033	1,615	224,426	1,349	9,294	1,936	4,422
$U_H = 10$ кВ													
К-6	Приведенное сопротивление точки К3	10,5	—	—	—	5,619	24,926	—	—	—	—	—	—
	Трансформатор ТП2.10	115/10,5	0,63	0,0076	5,5	2111,111	9390,625	—	—	—	—	—	—
	Трансформатор тока	10,5	—	—	—	0,350	0,200	—	—	—	—	—	—
	Контакты	10,5	—	—	—	15,000	—	—	—	—	—	—	—
	Катушки выключателей	10,5	—	—	—	0,060	0,045	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	10,5	—	—	—	2132,140	9415,796	0,628	223,837	1,348	9,291	1,936	1,719
К-7	Приведенное сопротивление точки К4	10,5	—	—	—	5,677	25,151	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 8

Точка	Элемент цепи	$U_{н.ср}$	S	I	u_k	$r^{*(б)}$	$X^{*(б)}$	I''	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$
		кВ	МВА	м	%	о.е.	о.е.	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	—	кА
К-7	Трансформатор ТП2.11	115/10,5	1	0,0097	5,5	1069,425	5968,701	—	—	—	—	—	—
	Трансформатор тока	10,5	—	—	—	0,350	0,200	—	—	—	—	—	—
	Контакты	10,5	—	—	—	15,000	—	—	—	—	—	—	—
	Катушки выключателей	10,5	—	—	—	0,060	0,045	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	10,5	—	—	—	1090,512	5994,097	0,995	278,602	1,391	9,428	1,951	2,745
К-8	Приведенное сопротивление точки К4	10,5	—	—	—	5,710	25,285	—	—	—	—	—	—
	Трансформатор ТП2.12	115/10,5	1	0,0097	5,5	1069,425	5968,701	—	—	—	—	—	—
	Трансформатор тока	10,5	—	—	—	0,350	0,200	—	—	—	—	—	—
	Контакты	10,5	—	—	—	15,000	—	—	—	—	—	—	—
	Катушки выключателей	10,5	—	—	—	0,060	0,045	—	—	—	—	—	—
	Общее сопротивление	10,5	—	—	—	1090,545	5994,231	0,995	278,600	1,391	9,428	1,951	2,745

Теперь необходимо выбрать силовое электрооборудование по расчетным параметрам.

«Ток термической стойкости точки КЗ:

$$B_{kt} = I_{n0}^2 (T_a + t_{п.в.}), \quad (31)$$
$$B_{kt} = 4,258^2 \cdot (271,969 + 30) \cdot 10^{-3} = 5,475 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\sigma = t_{pz} + t_{сво}, \quad (32)$$
$$\sigma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с},$$

где t_{pz} – время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{сво}$ – время срабатывания выключателя на отключение, с» [14].

«Максимальное значение аperiodической составляющей тока КЗ:

$$i_{a\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-0,05}{T_a}}, \quad (33)$$
$$i_{a\sigma} = \sqrt{2} \cdot 4,258 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{271,969}} = 6,021 \text{ кА}.$$

Номинальное значение аperiodической составляющей:

$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot I_{\mu} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \sigma}), \quad (34)$$
$$i_{ан} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 74,934 \text{ кА},$$

где I_{μ} – ток отключения выключателя, кА» [1],[14].

Результаты выбора оборудования для расчетных точек КЗ представлены в таблице 9 [1],[10],[18].

Таблица 9 – Проверка параметров оборудования

Точка	$U_{н,ср}$	I''	T_a	φ	$t_{уд}$	$K_{уд}$	$i_{уд}$	B_{kt}	$i_{a\sigma}$	I_μ	$i_{ан}$	I_p	$I_{па}$	Оборудование
	кВ	кА	10^{-3} с	рад	10^{-3} с	–	кА	кА ² с	кА	кА	кА	А	А	
К-1	115	4,258	271,969	1,387	9,415	1,950	11,742	5,475	6,021	40	74,934	251,11	502,22	ВГТ-110-2000 РГП-110-2000 ТОГФ-110-600
К-2	115	1,647	224,987	1,349	9,294	1,936	4,509	0,692	2,329	40	74,934	251,11	502,22	
К-3	115	1,638	224,855	1,349	9,294	1,936	4,485	0,684	2,316	40	74,934	251,11	502,22	
К-4	115	1,623	224,553	1,349	9,294	1,936	4,444	0,671	2,295	40	74,934	187,48	374,96	ВГТ-110-2000 РГП-110-2000 ТОГФ-110-400
К-5	115	1,615	224,426	1,349	9,294	1,936	4,422	0,664	2,283	40	74,934	97,03	194,06	ВГТ-110-2000 РГП-110-2000 ТОГФ-110-200
К-6	10,5	0,628	223,837	1,348	9,291	1,936	1,719	0,100	0,888	20	37,467	233,25	466,49	ВВ-TEL-10- 20/1000 РВЗ-10/1000 ТОЛ-10-600
К-7	10,5	0,995	278,602	1,391	9,428	1,951	2,745	0,306	1,407	20	37,467	387,49	774,99	ВВ-TEL-10- 20/1000 РВЗ-10/1000 ТОЛ-10-800
К-8	10,5	0,995	278,600	1,391	9,428	1,951	2,745	0,306	1,407	20	37,467	381,68	763,36	

Между ГРП и ГПП принимаем трансформаторы тока ТОГФ-110 [17].
Для остальных участков цепи выбирается аналогично.

Выводы по разделу

Для электроснабжения потребителей от ПС 220/110 используются трансформаторы ТДН 10000 110/10 (10 шт), ТМН 6300 110/10 (12 шт), ТМН 4000 110/10 (2 шт). Места установки соответствуют ЦЭН.

«В ходе расчетов было выбрано и проверено оборудование ТП и ГПП:

- элегазовые выключатели ВГТ-110-2000 на стороне 110 кВ;
- разъединители РГП-110-2000 на стороне 110 кВ;
- трансформаторы тока ТОГФ-110 с номинальными токами 200 А, 400 А и 600 А на стороне 110 кВ;
- вакуумные выключатели ВВ/TEL-10-20/1000 на стороне 10 кВ;
- разъединители РВЗ-10/1000 на стороне 10 кВ;
- трансформаторы тока ТОЛ-10 с номинальными токами 600 А и 800 А на стороне 10 кВ [1],[10],[17],[18].

Данное оборудование прошло все проверки.

3 Расчет релейной защиты и автоматики

«Основными видами повреждения в трансформаторе являются: замыкания между фазами внутри кожуха трансформатора и на наружных выводах обмоток; замыкания в обмотках между витками одной фазы (витковые замыкания); замыкания на землю обмоток или их наружных выводов, повреждения магнитопровода трансформатора, приводящие к появлению местного нагрева пожара» [11].

«Максимальное время защиты линий, отходящих от шин НН трансформатора, приравняем к собственному времени отключения выключателей $t_{\text{макс}}=0,03$ с» [8].

Релейную защиту автотрансформатора выполним на базе микропроцессорной защиты Сириус-Т.

«Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-Т» предназначено для выполнения функций основной защиты двухобмоточного (в том числе с расщепленной обмоткой) трансформатора с высшим напряжением 6-220 кВ.

Также возможно использование в качестве дифференциальной защиты реактора или мощного синхронного двигателя. Содержит подменную МТЗ ВН и МТЗ НН с внешним комбинированным пуском напряжения» [15].

Первичный ток на стороне ВН определим по формуле 14. Вторичный ток плеч защиты определяется по формуле:

$$I_{\text{н2}} = \frac{I_{\text{н1}}}{k_{\text{Т}}}, \quad (35)$$
$$I_{\text{н2}} = \frac{328}{400/5} = 4,1 \text{ А.}$$

Ток небаланса:

$$I_{\text{нб.р}} = K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{рпн}} + \Delta f_{\text{доб}}, \quad (36)$$
$$I_{\text{нб.р}} = 2 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,13 + 0,04 = 0,37 \text{ о. е..}$$

Уставка срабатывания:

$$I_{уст.ср} = K_{отс} \cdot I_{нб.р}, \quad (37)$$
$$I_{уст.ср} = 1,2 \cdot 0,37 = 0,444.$$

Принимаем значение 0,5.

«Коэффициент снижения тормозного тока:

$$K_{сн.т} = 1 - 0,5 \cdot I_{нб.р}, \quad (38)$$
$$I_{уст.ср} = 1 - 0,5 \cdot 0,37 = 0,815.$$

Коэффициент торможения:

$$K_{торм} = \frac{100 \cdot K_{отс} \cdot I_{нб.р}}{K_{сн.т}}, \quad (39)$$
$$I_{уст.ср} = \frac{100 \cdot 1,2 \cdot 0,37}{0,815} = 54\%.$$

Расчетный ток максимального внешнего КЗ, приведенный к номинальному току трансформатора:

$$I'_{кз.внеш.макс} = \frac{I_{кз.внеш.макс}}{I_{н1}}, \quad (40)$$
$$I'_{кз.внеш.макс} = \frac{18616}{328} = 57,$$

где $I_{кз.внеш.макс}$ – наибольший ток КЗ приведенный к стороне ВН, А.

Расчетный ток небаланса при внешнем КЗ» [8]:

$$I_{нб} = K_{отс} (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рпн} + \Delta f_{доб}) I'_{кз.внеш.макс}, \quad (41)$$
$$I_{нб} = 1,5 \cdot (3 \cdot 0,1 + 0,13 + 0,04) \cdot 57 = 40,19.$$

Принимаем значение 40. Аналогично проведем расчет для стороны и НН и представим результаты в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет уставок релейной защиты автотрансформатора АДЦТН 125000/220/110

Величина	ВН (220 кВ)	НН (110 кВ)
Расчет уставок ДЗТ-1		
$I_{Н1}, A$	328	656
$I_{НТТ1}, A$	400	700
$I_{НТТ2}, A$	5	5
k_T	400/5	700/5
$I_{Н2}, A$	4,1	4,7
$I_{баз}, A$	4,1	4,7
Расчет уставок ДЗТ-2		
$I_{нб.р}$	0,37	
$I_{уст.ср}$	0,444	
$I_{уст.ср}'$	0,5	
$K_{сч.т}$	0,815	
$K_{торм}, \%$	54	
Расчет уставок отсечки		
$I_{кз.внеш.макс}, A$	18616	
$I_{кз.внеш.макс}/I_{Н1}$	57	
$I_{нб}$	40,19	
$I_{нб}'$	40	

Выводы по разделу

Микропроцессорная защита Сириус-Т обеспечивает защиту автотрансформатора с требуемой чувствительностью.

4 Расчет заземления и молниезащиты

Проведем расчет молниезащиты для ГПП 220/110.

«Активная высота молниеотвода:

$$\begin{aligned}h_A &= h - h_x, \\h_A &= 30 - 7 = 23,\end{aligned}\tag{42}$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота установки молниеотвода от уровня земли, м» [12].

«Зона защиты молниеотвода:

$$\begin{aligned}r_x &= h_A \cdot \frac{1,60 \cdot P}{1 + h_x/h_A}, \\r_x &= 23 \cdot \frac{1,60 \cdot 1}{1 + 7/30} = 29,838 \text{ м}.\end{aligned}\tag{43}$$

Наибольшая сторона зоны защиты:

$$\begin{aligned}h_0 &= h - \frac{a}{7}, \\h_0 &= 30 - \frac{53}{7} = 22,5 \text{ м},\end{aligned}\tag{44}$$

где a – расстояние между молниеотводами, м» [12].

«Ширина зоны защиты:

$$\begin{aligned}b_x &= 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x), \\b_x &= 3 \cdot (22,5 - 1,25 \cdot 7) = 41 \text{ м}.\end{aligned}\tag{45}$$

Изобразим графически зону защиты на рисунке 4» [12].

Система заземления выполнена с помощью металлической сетки.

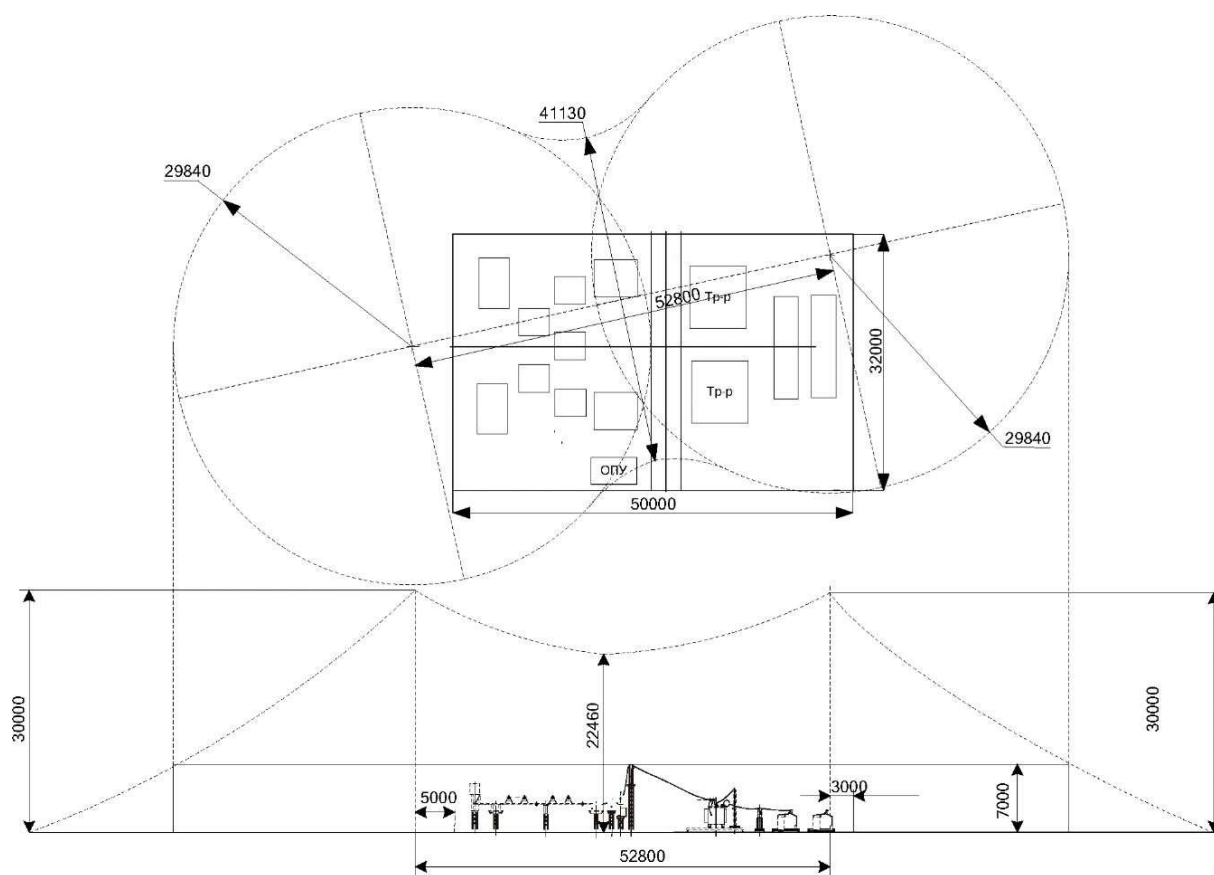


Рисунок 4 – Схема молниезащиты

«Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции» [7].

Выводы по разделу

Рассчитанная схема заземления и молниезащиты удовлетворяет требованиям электробезопасности.

Заключение

В данной ВКР выполнена реконструкция системы релейной защиты автотрансформатора 220/110 кВ с применением микропроцессорной защиты.

В качестве исходных данных представлены данные о потребителях, электроснабжение которых, осуществляется от ПС 220/110 кВ, а именно: суммарные коэффициенты мощности и спроса, план размещения объектов в районе. Далее, используя исходные данные, определены суммарные электрические нагрузки силовой и осветительной сети. Компенсация реактивной мощности происходит с использованием конденсаторных батарей.

Согласно схеме электроснабжения потребителей используются трансформаторы следующих типов: ТДН 10000 110/10 (10 шт), ТМН 6300 110/10 (12 шт), ТМН 4000 110/10 (2 шт). Для питания подстанций потребителей с двумя трансформаторами на каждой, используется ГПП 220/110 кВ с двумя трансформаторами АТДЦТН 125000 220/110.

Расчет потерь напряжения в используемой схеме электроснабжения показал, что нормально-допустимые потери напряжения в воздушных линиях составляют менее 5%, а предельно-допустимые – менее 10%.

Для расчета токов КЗ были приняты на стороне выше 1 кВ восемь расчетных точек (пять точек на стороне 110 кВ, а три – на стороне 10 кВ). Наиболее высокий ток КЗ получен на стороне 110 кВ ближе к энергосистеме.

Электрооборудование соответствует требуемым параметрам, релейная защита автотрансформатора выполнена на базе дифференциальной микропроцессорной защиты Сириус-Т.

На последнем этапе рассчитано заземление и молниезащита ПС 220/110 кВ с двумя трансформаторами АТДЦТН 125000 220/110. В результате расчета молниезащиты приняты два молниеотвода, система заземления выполнена с помощью металлической сетки. Территория ПС 220/110 кВ защищена в полной мере.

Список используемых источников

1. Выключатель элегазовый колонковый ВГТ-110 [Электронный ресурс] : Официальный сайт поставщика электротехнического оборудования ООО «Курс». URL: <https://zaokurs.ru/katalog/elektrotexnicheskoe-oborudovanie/vyisokovoltnoe-oborudovanie> (дата обращения: 19.07.2024).
2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 19.07.2024).
3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 19.07.2024).
4. ГОСТ 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы (Переиздание) [Электронный ресурс] : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1360-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105703> (дата обращения: 19.07.2024).
5. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 19.07.2024).
6. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 19.07.2024).
7. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL: <https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektroustanovkakh/> (дата обращения: 19.07.2024).

8. Куксин А.В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / А.В. Куксин. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 200 с.

9. Нерегулируемые конденсаторные установки типа УКЛ(П) [Электронный ресурс]: Официальный сайт ТОО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод». URL: <https://www.ukkz.com/ru/catalog/u-k/visokogo-napryazheniya/modernizirovannye.html> (дата обращения: 19.07.2024).

10. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 19.07.2024).

11. Привалов Е.Е., Ефанов А.В., Ястребов С.С., Ярош В.А. Эксплуатация оборудования электрических подстанций и сетей: учебное пособие. Ставрополь: Изд-во Параграф, 2020. 171 с.

12. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Олышанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

13. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-ro-poterjam-napryazhenija.html> (дата обращения: 19.07.2024).

14. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утв. техническим циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения: 19.07.2024).

15. Сибикин Ю.Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие Ю.Д. Сибикин. 2-е изд., доп. Москва : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

16. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 19.07.2024).

17. Трансформатор тока ТОГФ-110 [Электронный ресурс] : ТОО Группа компаний «Savoir Faire». URL: <https://www.sf.kz/index.php/2022-04-13-08-47-46> (дата обращения: 19.07.2024).

18. Трансформаторы тока ТОЛ-10-III [Электронный ресурс] : Официальный сайт ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока». URL: <https://www.czt.ru/catalog/transformatory-toka/transformatory-toka-naruzhnoy-ustanovki/opornye1/10-kv-1/tol10iii/> (дата обращения: 19.07.2024).

19. Benthous M. A Coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. *Energy, Sustainability and Society* Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

20. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. *IEEE Access* Vol. 8. 2020. p.673-684.

21. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. *Energies* Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

22. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. *Chemical Engineering Transactions* vol.56, 2018. p.259-264.

23. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low-carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. *Energy Conversion and Economics*. 2020. p.34-44.