

*Приложение  
Расчет уставок защит для  
проектируемой ТП 2х2000*

*Шифр ОК.12.10/РК-ЭС1*

<i>с о г л а с о в а н о</i>				
<i>инв. N подл.</i>	<i>Подпись и дата</i>	<i>Взам. инв. N</i>		

## Релейная защита

1. Релейная защита, автоматика и сигнализация, предусмотренные на присоединениях и принятые к установке релейная аппаратура, устройства и оборудование.

1.1 На головном концах отходящих КЛ в сторону нов. РТП, ПС-39, РУ-6кВ, — фидера фф. 16,18,11,19.

1.1.1 Максимальная токовая защита на реле РТВ-1(РТ-95).

1.1.2 Землянная сигнализация на щиток с прибором-УЗМ.

1.2 На отходящей линии проектируемой РТП (яч. 15, 16).

1.2.1 Максимальная токовая защита на реле БМРЗ

1.2.2 Максимальная токовая отсечка на реле БМРЗ.

1.3. На проектируемой ТП котельной

1.3.1 Защита на стороне ВН:

-максимальная токовая защита на электронных реле БМРЗ-100 ;

-максимальная токовая отсечка на электронных реле БМРЗ-100.

1.3.2 Защита на стороне НН автоматическими выключателями АВВ Е4Н на 4000А.

## 2. СХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1 Так трёхфазного КЗ:

-ПС-39, РУ-6кВ:  $I_{кМДХ}^{(3)}=11,2$  кА,  $I_{кМИН}^{(3)}=10,1$  кА .

2.2 Напряжение.

$U_{н}=6$  кВ

2.3 Данные кабелей 6 кВ.

2.3.1 Кабель от ПС-39 — проектируемая РТП

-длина 2400 м.

2.3.2 Кабель от РТП до ТП котельной.

-марка АПВПгу 3х(1х240/70)-10 кВ;

-длина 680 м.

Инд. № подл.	Подпись и дата	Инд. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изм.	Колыч	Лист	Ндоп.	Подпись	Дата	ОК.12.10/РК-ЭС1.РЗА. ПЗ	Лист
												2

2.4 Данные трансформаторов ТП котельной:

-тип: TS3R07.2000 2000/6/0.4;

-максимальный рабочий ток: 195 А

- напряжение КЗ: 7%;

- схема соединения  $Y/\Delta_0$

Исходные данные приведены в таблицах 3.2, 3.1(см. листы 5 и 6 настоящего приложения).

Таблица 4.3

Трансформатор						
Тип	Мощность, кВА	Напряжение, кВ	Рк, кВт	Uк, %	Rт, Ом	Xт, ом
TS3R07.2000	2000,000	0,400	17,840	7,000	0,00071	0,00555

Таблица 4.4

Генератор ГПУ						
Тип	Мощность, кВА	Напряжение, кВ	cos φ	sin φ	X <sub>d</sub> <sup>''</sup>	
VAPOR	2481,000	0,400	0,8	0,6	0,15	

Инв. № подл.	Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Изм.	Кол-ч	Лист	Ндок.	Подпись	Дата	ОК.12.10/РК-ЭС1.РЗА. ПЗ	Лист
												3

Учитывая особенность режимов работы системы электроснабжения котельной, а именно:

- постоянная работа ГПУ на потребители котельной и передачу электроэнергии в сеть, рассчитываются два режима короткого замыкания в определенных точках:
- КЗ при питании от сети 6 кВ;
- КЗ при питании от ГПУ с передачей электроэнергии в сеть.

Расчетная схема и схема замещения приведены на листах 3 и 4 настоящего приложения проекта.

### 3. Расчёт токов короткого замыкания в сетях 6 кВ при питании от сети.

3.1 Расчёт токов КЗ выполнен в именованных единицах.

$$I_{\text{зс}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(x^2 + r^2)}} \text{ кА, где}$$

$r$  – суммарное активное сопротивление элементов сети, Ом;

$x$  – суммарное реактивное сопротивление элементов сети, Ом.

$$x = x_{\text{сист}} + x_{\text{каб}} + x_{\text{ш}} + x_{\text{р}} \text{ где:}$$

$x_{\text{сист}}$  – сопротивление системы, Ом;

$x_{\text{каб}}$  – сопротивление кабельных линий, Ом;

$x_{\text{ш}}$  – сопротивление шин, Ом,

$x_{\text{р}}$  – сопротивление реактора, Ом.

В силу малости сопротивления шин и реакторов, ими можно пренебречь.

Инд. № подл.	Инд. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инд. № подл.

Изм.	Кол-во	Лист	Подк.	Подпись	Дата

$r = r_{каб} + r_{с},$  где:

$r_{каб}$  — сопротивление кабельных линий, Ом;

$r_{с}$  — сопротивление системы, Ом.

В силу малости сопротивления шин, ими можно пренебречь.

Параметры элементов сети в таблице 3.1(лист 6) расчётов токов КЗ.

4. Расчет токов КЗ при работе ГПУ параллельно с сетью.

4.1 Расчет выполнен согласно РД 153-34.0-20.527-98 для сетей до 1 кВ.

4.2 Принять нагрузку котельной смешанной согласно п.п 6.8.3. Соотношение двигательной и осветительной нагрузки по диаграмме составляет 0.8 и 0.2.

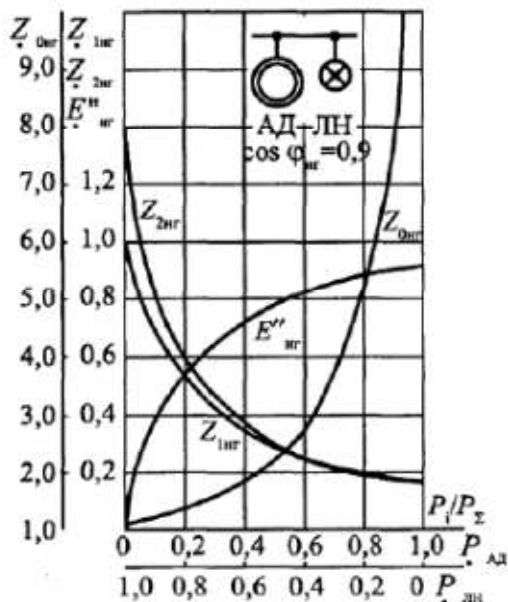


Рис. 1 Диаграмма для определения  $Z_{1нз}$ ,  $E''_{нз}$ .

Для комплексной нагрузки сетей 0.4 кВ периодическая составляющая тока КЗ:

$$I_{п0нз} = \frac{E'' \cdot U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left( Z_{1нз} \cdot \frac{U_{ср.НН}^2}{S_{\Sigma}} \cdot \cos \phi_{нз} + R_{1\Sigma} \right)^2 + \left( Z_{1нз} \cdot \frac{U_{ср.НН}^2}{S_{\Sigma}} \cdot \sin \phi_{нз} + X_{1\Sigma} \right)^2}}$$

где:

$I_{п0нз}$  — периодическая составляющая тока КЗ при питании от генератора, кА;

$E''$  — сверхпереходная ЭДС (относительное значение);

$U_{ср.НН}$  — номинальное напряжение низкой стороны, В;

$Z_{1нз}$  — эквивалентное сопротивление прямой последовательности;

ОК.12.10/РК-ЭС.1.РЗА. ПЗ

Лист

5

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колуч	Лист	Подк.	Подпись	Дата
------	-------	------	-------	---------	------

– суммарная присоединяемая мощность секции, кВА;

$R_{1\Sigma}$  – суммарное активное сопротивление цепи КЗ, Ом;

$X_{1\Sigma}$  – суммарное реактивное сопротивление цепи КЗ, Ом;

$\cos \phi_{\Sigma}$  – коэффициент мощности системы;

$\sin \phi_{\Sigma}$  – коэффициент мощности системы.

При удалении точек КЗ (К3, К4, К1) суммируются сопротивления элементов сети, при этом переходя на другую ступень напряжения используется соотношение для приведения сопротивления к расчетной ступени напряжения:

$$x_{\text{нн}} = x_{\text{вн}} * \left( \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}} \right)^2$$

Сопротивление трансформатора рассчитать по зависимостям:

$$R_T = \frac{P_{\text{к.ном}} \cdot U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}^2} \cdot 10^3$$

$$X_T = \sqrt{u_k^2 - \left( \frac{100 \cdot P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{т.ном}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}} \cdot 10, \text{ где}$$

$X_T$  – индуктивное сопротивление трансформатора, Ом;

$R_T$  – активное сопротивление трансформатора, Ом;

$P_{\text{к.ном}}$  – потери короткого замыкания, кВт;

$S_{\text{т.ном}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{\text{НН.ном}}$  – номинальное напряжение низкой стороны, В.

Инд. № подл.	Подпись и дата
Взам. инб. №	
Инд. № дубл.	
Подпись и дата	

Расчетные данные по точкам КЗ приведены в таблице 1.РЗА. ПЗ

Изм.	Кол-во	Лист	Подп.	Подпись	Дата
------	--------	------	-------	---------	------

## 5. Расчёт релейной защиты

### 5.1 Максимальная токовая защита (первичный ток):

$$I_{сз} = \frac{K_H \cdot K_{сз}}{K_{\theta}} \cdot I_{рmax}, \text{ где:}$$

$I_{сз}$  — ток срабатывания защиты;

$K_H$  — коэффициент надёжности (для электронных реле принят 1,05, для электромеханики — 1,2);

$K_{сз}$  — коэффициент самозапуска (для пром. нагрузки принят 2,5);

$K_{\theta}$  — коэффициент возврата (для электронных реле принят 0,95, для электромеханики — 0,85).

Для проектируемой РТП уставки РЗиА вводов и отходящих линий уточнить отдельным проектом.

Характеристики для реле БМРЗ-100 принять времязависимыми (преобладание двигательной нагрузки на котельной).

Изменение уставок по времени и току вызвано:

- изменением нагрузок на ТП-620;
- включением в состав системы электроснабжения БРТП по ул. Федюниского.

Расчет выполнен согласно:

Л.1 М.А. Шабад Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. СПб, ПЭИПК, 2003 г.

### 5.2 Расчётный ток МТЗ:

$$I_{ср} = \frac{K_{сх}}{n_{ТТ}} \cdot I_{сз}, \text{ где:}$$

$K_{сх}$  — коэффициент самозапуска (принят 2,5);

$n_{ТТ}$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

### 5.3 Максимальная токовая отсечка:

$$I_{сзто} = K_H \cdot I_{кmax}^{(3)}, \text{ где:}$$

$I_{кmax}^{(3)}$  — ток КЗ в конце защищаемого участка;

$K_H$  — коэффициент надёжности (для электронных реле принят 1,05)

Инд. № подл.	Подпись и дата	Инд. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инд. № подл.	Подпись и дата	Изм.	Копч.	Лист	Ндоп.	Подпись	Дата	ОК.12.10/РК-ЭС1.РЗА. ПЗ		Лист
													7		

$$I_{срто} = \frac{K_{сх}}{n_{ТТ}} \cdot I_{сэто}, \text{ где:}$$

$I_{сэто}$  — ток срабатывания токовой отсечки.

#### 5.4 Чувствительность защит.

$$K_{ч} = \frac{I_{кмин}}{I_{сз}}, \text{ где:}$$

$I_{кмин}$  — минимальный ток короткого замыкания в конце основной (резервной) защит.

Для основной защиты  $K_{ч} \geq 1,5$

5.5 Проверка чувствительности МТЗ трансформаторов в ТП к однофазным КЗ на стороне 0.4 кВ трансформатора в ТП.

#### 5.5.1 Условие чувствительности.

$$I_{сз} = \frac{I_{к.пр}^{(1)}}{K_{ч}}, \text{ где:}$$

$I_{к.пр}^{(1)}$  — минимальный ток однофазного КЗ на стороне НН, приведённый к стороне ВН.

$$I_{к.пр}^{(1)} = \frac{I_{к}^{(1)}}{\sqrt{3} \cdot K_{Т}}, \text{ где:}$$

$I_{к}^{(1)}$  — ток однофазного КЗ на стороне НН (учитывая равенство  $I_{к}^{(3)} = I_{к}^{(1)}$ ) для трансформаторов со схемой соединения  $\Delta/Y_0$  принимается:

$$I_{к}^{(1)} \approx 12000A;$$

$K_{Т} = 15$  — коэффициент трансформации силового трансформатора;

$K_{ч} = 1,5$  — коэффициент чувствительности.

$$I_{к.пр}^{(1)} = 12000 / (\sqrt{3} \cdot 15) = 480A.$$

$I_{сз} = 480A < 480A / 1,5 = 320A$  — условие чувствительности не выполняется.

Для повышения чувствительности защит к однофазным замыканиям на стороне 0.4 кВ предусматривается автоматический выкл., имеющим защиту от однофазных КЗ.

5.6 Расчёт и выбор уставок автоматического выключателя АВВ Е4Н 40 ( $I_{нб} = 4000A$ ).

4.6.1 Номинальный ток расцепителя

ОК.12.10/РК-ЭС1РЗА. ПЗ

Лист

8

Инд. № подл.	Изм.	Кол-ч	Лист	Подпись	Дата
Взам. инв. №					
Инд. № дубл.					
Подпись и дата					
Подпись и дата					
Инд. № подл.					



$I_{н.р.} = 4000 \text{ А } (0,75 \times I_{нв.})$ ;

5.6.2 Отношение  $I/I_{н.р.}$ :

- в зоне перегрузки: 1,5;

- в зоне КЗ: 1,5.

5.6.3 Время срабатывания (с).

- в зоне перегрузки: 4(8 с □ для вводов);

- в зоне КЗ: 0,1 с.

5.6.4 Тип характеристики:

Зависимая L-S-I.

5.6.5 Защита от однофазного КЗ:

$I_{окз}/I_{нв} = 0,5$  - характеристика G.

Защита с уставкой, равной 2000 А (тип G) выполнена на вводных и секционном выключателях.

Данные сведены в таблицу 5.1 (лист 7 основного комплекта чертежей).

Вывод: расчетные уставки обеспечивают нормальную работу системы электроснабжения котельной.

6 КАРТА СЕЛЕКТИВНОСТИ. См. лист 8 данного Приложения.

7. ПРОВЕРКА ПИТАЮЩИХ КАБЕЛЕЙ ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ К ТОКАМ КЗ

$$I_{то} = \frac{F \cdot c}{\sqrt{t_{срз}}},$$

$$\text{или } F = \frac{\sqrt{B_k}}{C}, \text{ где:}$$

$B_k$  - тепловой импульс, равный  $83,6 \times 10^6 \text{ А}^2 \times \text{с}$ ;

$F$  - расчетное сечение кабеля АПВПу2г 3х(1х240/70), мм<sup>2</sup>;

$C$  - коэффициент для кабелей с алюминиевыми жилами, ~98;

$$F = \frac{\sqrt{83,6 \cdot 10^6}}{98} = 96 \text{ мм}^2$$

$t_{срз}$  - время срабатывания защиты вводов ТП-620, с.

Расчетное значение сечения кабеля - не менее 96 мм<sup>2</sup>.

Расчетное значение токовой отсечки не более  $I_{то} = 10000 \text{ А}$ .

Вывод: питающие кабели АПВПу2г 3х(1х240/70)-10 кВ удовлетворяет по термической стойкости к току КЗ.

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Колчн	Лист	Ндок.	Подпись	Дата

ОК.12.10/РК-ЭС1.РЗА. ПЗ

### 8. ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ РУ-6 кВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ К ТОКАМ КЗ

Ударный ток КЗ рассчитан:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{кз}, \text{ кА}, \text{ где:}$$

$I_{кз}$  – ток трехфазного КЗ, ~6 кА (из расчета тока КЗ, см. таб.3.1, лист 6);

$k_{уд}$  – коэффициент ударного тока, ~1,4.

$$I_{уд} = 11,6 \text{ кА}$$

Вывод: оборудование, принятое к установке в РУ-6 кВ удовлетворяет по динамической стойкости к токам КЗ (20 кА > 11,6 кА, где 20 кА – допустимая электродинамическая стойкость оборудования РУ-6 кВ производства ООО «СЭТ»).

Данные РЗиА ТП-620 приведены для дальнейшего расчета РЗиА проектируемой РТП по ул. Федюниского, выполняемого ООО «Электромонтаж-110» с учетом нагрузки РТП и, соответственно следующих данных :

- уставки защит вводе РТП;
- уставки защит фидеров ПС-39.

### 9. РАСЧЕТ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ

Согласно ПУЭ (п.3.2.42) сигнал на отключение трансформаторного ввода 6 кВ формируется по двум параметрам:

- снижение напряжения до  $0,6 \times U_{но}$ , что соответствует 60 В измерительных трансформаторов напряжения;
- снижение частоты до 47,5 Гц.

$$U_{срз} = 0,6 \cdot 100 \text{ В} = 60 \text{ В}$$

Установить следующие параметры БМЧН для выдачи сигнала:

$$U_{срз} = 60 \text{ В};$$

$$f = 47,5 \text{ Гц}$$

### 10. РАСЧЕТ АВР НА СТОРОНЕ 6 кВ и 0,4 кВ.

Инд. № подл.	Подпись и дата	ОК.12.10/РК-ЭС1.РЗА. ПЗ				Лист	
						10	
Взам. инв. №	Подпись и дата	Изм.	Колуч	Лист	Подок.	Подпись	Дата
Инд. № дубл.							
Подпись и дата							

Согласно данным, предоставленным ОАО "Петродворцовая электросеть," АВР на стороне 6 кВ БРТП составляет 5 с. Степень АВР по стороне 6 кВ составляет 2 с.

Время на стороне 6 кВ ТП-620 составляет:

$$T_{авр} = 5с + \Delta t = 7 с, \text{ где } 5с - \text{ время АВР на БРТП.}$$

Время на стороне 0,4 кВ принять 9 с.

В дальнейшем время АВР следцет принять равным 0 с.

### 11. АЛГОРИТМ РАБОТЫ АВР НА СТОРОНЕ 0,4 кВ

Алгоритм работы АВР на стороне 0,4 кВ предусматривает следующие режимы работы системы электроснабжения котельной:

- работа одного трансформатора ( Т1 или Т2 ) или ГПУ ( ГПУ1 или ГПУ2 ) на одну секцию РУ-0,4 кВ;
- работа Т1 и ГПУ1 или Т2 и ГПУ2 на одну из секций РУ-0,4 кВ;
- параллельная работа ГПУ ( любого из агрегатов ГПУ1 или ГПУ2 ) или трансформатор с сетью.

В целях исключения следующих аварийных режимов системы электроснабжения котельной, а именно недопущение перегрузки защищаемого оборудования, проектом предусмотрено:

- блокировка включения вводных выключателей 6 кВ на работающие ГПУ;
- блокировка АВР на секцию с питанием от одного трансформатора ( Т1 или Т2 ) или от одной ГПУ ( ГПУ1 или ГПУ2 ).

Вся сигнальная арматура и приборы управления выведены на панели 1ЩВ1, 1ЩВ2 (2ЩВ1, 2ЩВ2) и 1ЩС2.

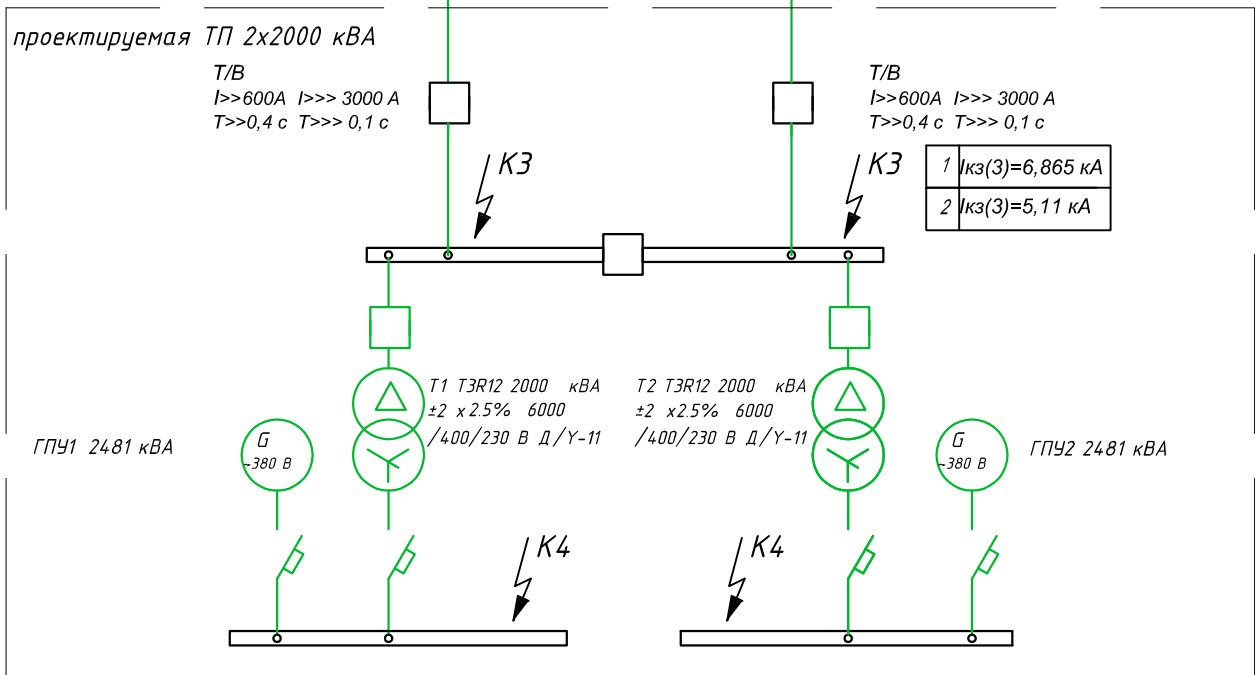
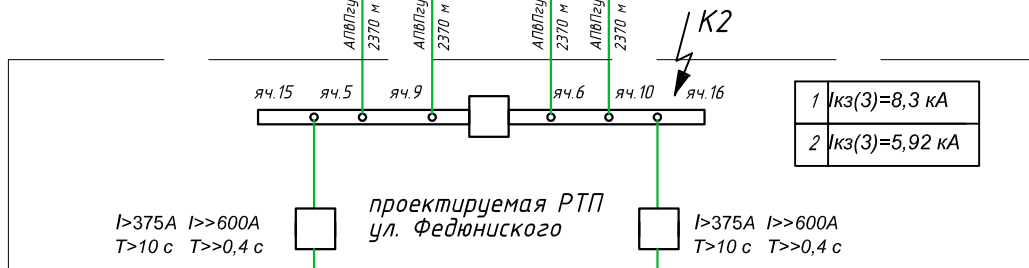
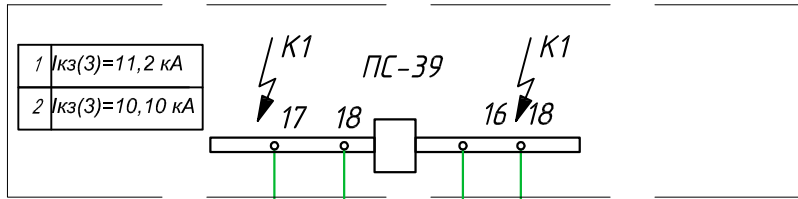
Блокировки выполнены с помощью контактов положения выключателей, трансформаторов тока (датчики нагрузки).

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Копч	Лист	Ндок.	Подпись	Дата

ОК.12.10/РК-ЭС1.РЗА. ПЗ

# Расчетная схема



### Примечания

- Расчет токов КЗ от сети выполнен на основе проекта 44/11-РЗА "Электромонтаж-110"

инв. N подл.	Подпись и дата	Взам. инв. N	согласовано	

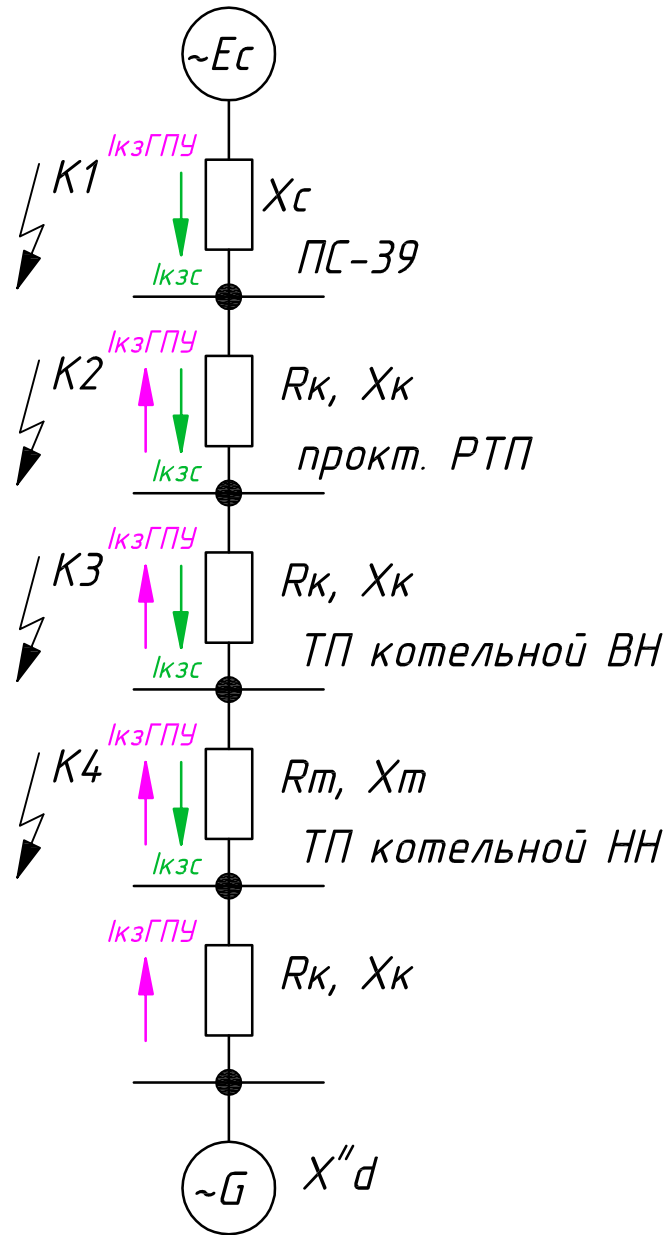
Изм.	Лист	N° докум.	Подпись	Дата
------	------	-----------	---------	------

ОК.12.10/ПК-ЭС1

Лист

Формат А4

# Схема замещения



$I_{кзГПУ}$  направление тока КЗ при питании от ГПУ  
 $I_{кзс}$  направление тока КЗ при питании от системы

согласовано

инв. N подл. Подпись и дата

Взам. инв. N

Изм.	Лист	N° докум.	Подпись	Дата

OK.12.10/РК-ЭС1

Лист



## Расчет токов КЗ (от системы)

Таблица 3.1

Расчет токов КЗ							
N п/л	Наименование	Обозначение	Ед.изм	Численные значения в точках			
				ПС 39 К1	проект.Р ТП К2 РУ- 6кВ	ТП кот- ной КЗ, РУ-6кВ	ТП кот- ной КЗ, РУ0.4кВ
1	Номинальное напряжение	$U_n$	кВ	6,30	6,30	6,30	6,30
2	Данные системы	КЗ на шинах ПС /т/	$I_k$	кА	11,20	11,20	11,20
3		КЗ на шинах ПС /т/	$I_k$	кА	10,10	10,10	10,10
4		Реактивное сопротивление	$X_c$	Ом	0,37	0,37	0,37
5	Кабели	Активное сопротивление	$R_k$	Ом		0,31	0,39
6		Реактивное сопротивление	$X_k$	Ом		0,18	0,23
7		Сном, кВА	$S_n$	кВА			2000,00
8	Трансформатор	потери КЗ	$P_{кз}$	кВт			14,78
9		Холостой ход		%			7,00
10		Активное сопротивление	$R_t$	Ом			0,00071
11		Реактивное сопротивление	$X_t$	Ом			0,00555
12	Результирующее сопротивление		$Z_{сумм}$	Ом	0,37	0,63	0,72
13	Ток КЗ		$I_{кз}$	кА	10,10	5,91	4,90

согласовано			
инв. N подл.			
Подпись и дата			
Взам инв. N			

				ОК.12.10/ПК-ЭС1	Лист
Изм.	N° докум.	Подпись	Дата		

# Расчет уставок релейной защиты

Таблица 5.1

Расчет уставок защит									
№ п/п	Наименование	Обозначени	ПСЗРФ.	РТП яч.8,7,6,5 вводов	РТП отх. линия, яч.15, 16	ТП кот. Ввода яч.2,6	ТП яч. тран- ров яч.1,7	ТП, яч.секц. выкл	
1	Максимальный рабочий ток А	Im	16,18		385,36	385,36	192,68	200,00	
2	коэффициент тр-ции тр-ров тока	k			80,00	80,00	60,00	60,00	
3	Расчетное значение	Ikз(З)			5,15	5,15	5,12	5,15	
4	минимальный режим	Ikз(З)							
5	кратность максимальной	Kсз			2,50	2,50	2,50	2,50	
6	Расчетные коэффициенты	Kсх			1,00	1,00	1,00	1,00	
7	схемы включения реле	Kн			1,05	1,05	1,05	1,05	
8	надежности	Kв			0,95	0,95	0,95	0,95	
9	возврата								
10	расчетный	Iср			13,31	13,31	8,67	9,21	
11	принятый	Iср			14,00	14,00	9,00	10,00	
12	первичный	Iсз			600,00	600,00	540,00	400,00	
13	в зоне основной	Kч			8,58	8,58	9,17	-	
14	в зоне резервирования	Kч			8,58	8,53	9,07	-	
15	Установленное реле				-	БМРЗ 103-ВВ	БМРЗ 102-КЛ	БМРЗ 103-СВ	
16	Время срабатывания	t			0,4	0,4	0,2	0,1	
17	Расчетные коэффициенты	Kсх			1	1	1	1	
18	коэффициент надежности	Kн			1	1	1	1	
19	расчетный	Iср			0,00	0,00	0,00	0,00	
20	принятый	Iср			50	37,5	50	65	
21	первичный	Iсз			4000	3000	3000	3000	
22	Установленное реле				-	БМРЗ 103-ВВ	БМРЗ 102-КЛ	БМРЗ 103-СВ	
	Время срабатывания	t			0,1	0,1	0,1	0,1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						Лист
					ОК.12.10/РК-ЭС1					

Формат А4

Изм. № подл.

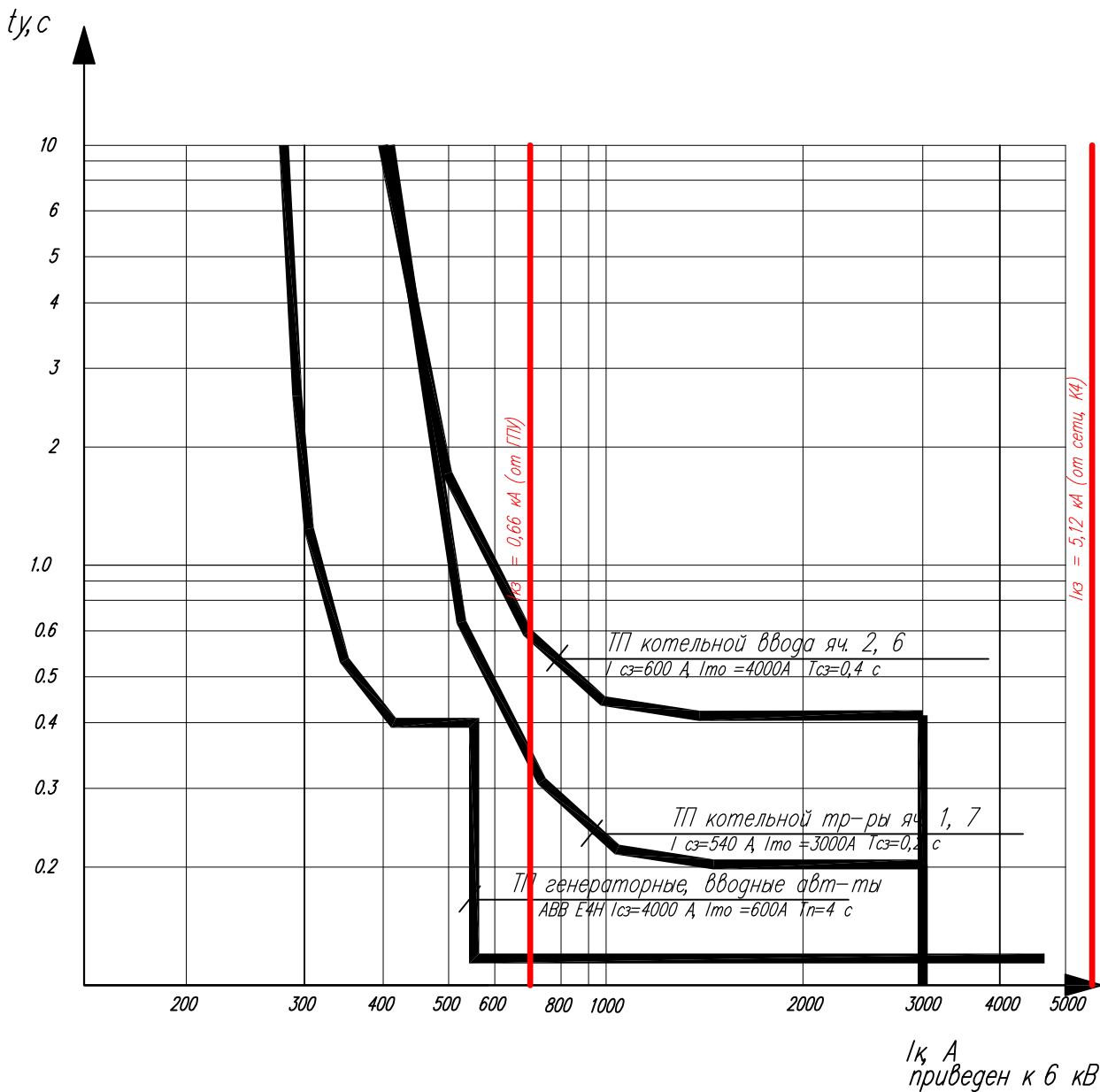
Подпись и дата

Взам. инд. №

Согласовано



Карта селективности фф. ПС-39, РТП, ТП-620



инв. N подл.	Подпись и дата	Взам. инв. N	согласовано	
Изм.	Лист	N° докум.	Подпись	Дата

OK.12.10/РК-ЭС1

Лист