

Заказчик: ООО ТК «Новосибирский»

Объект: Производственные участки

Адрес: Новосибирская область, Новосибирский район, МО
Толмачевский сельсовет, с. Толмачево, ул. Советская, 140
(кадастровые номера земельных участков 54:19:034001:1275,
54:19:034001:3798)

РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Кабельные линии 10 кВ от ЛЭП-10 кВ
(ф.11-416, ф.11-423) до КТПН-15, КТПН-16.
Расчет релейной защиты.**

68-07-25-ЭС.РР

Заказчик: ООО ТК «Новосибирский»

Объект: Производственные участки

Адрес: Новосибирская область, Новосибирский район, МО
Толмачевский сельсовет, с. Толмачево, ул. Советская, 140
(кадастровые номера земельных участков 54:19:034001:1275,
54:19:034001:3798)

РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

**Кабельные линии 10 кВ от ЛЭП-10 кВ
(ф.11-416, ф.11-423) до КТПН-15, КТПН-16.
Расчет релейной защиты.**

68-07-25-ЭС.РР

Директор

Семёнов Е. Б.

ГИП



Семёнов Е. Б.

Оглавление

1 ОБЩИЕ ДАННЫЕ	2
2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	3
3 РАСЧЕТ ТОКОВ КЗ.....	9
4 РАСЧЕТ УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ.....	10
4.1 Токовые защиты КТП №15, КТП №16 (БМРЗ-60) 10/0,4 кВ.....	10
КАРТА УСТАВОК (РЕКОМЕНДУЕМАЯ)	12
ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ РАСЧЕТАХ.....	13

Согласовано				

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

						68-07-25-ЭС.РР					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата				Стадия	Лист	Листов
Разработал		Шмелёва			0925	Кабельные линии 10 кВ от ЛЭП-10 кВ (ф.11-416, ф.11-423) до КТПН-15, КТПН-16. Расчет релейной защиты.			Р	1	13
Проверил		Семёнов			0925						
Н. контр.		Семёнов			0925						

1 ОБЩИЕ ДАННЫЕ

Настоящая пояснительная записка разработана в составе проектной документации на электроснабжение комплектных трансформаторных подстанций КТП-15 и КТП-16, запитанных от РУ-10 кВ существующей подстанции “Строительная”.

При проектировании приняты технические решения, соответствующие требованиям следующих нормативно-технических документов:

- Правил устройства электроустановок. Шестое издание (ПУЭ),
- ГОСТ Р 59909-2021 «Релейная защита и автоматика. Классификация»,
- РД 34.20.185 «Инструкция по проектированию устройств релейной защиты»,
- РД 34.35.310-97 «Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем».

Применение устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) обосновано необходимостью обеспечения требуемого уровня надёжности электроснабжения, предотвращения развития аварийных режимов и минимизации времени отключения и восстановления питания потребителей.

Расчёты токов короткого замыкания, выбор уставок релейной защиты, выполнены в составе настоящей пояснительной записки и являются обязательной частью комплекса мероприятий по обеспечению надёжности и селективности схемы электроснабжения.

Согласовано		
Взам. инв. №		
Подп. и дата		
Инв. № подл.		

						68-07-25-ЭС.РР	Лист
							2
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчёты параметров срабатывания уставок релейной защиты и проверки трансформаторов тока выполнены на основании исходных сведений по распределительной подстанции и присоединениям КТП-15 и КТП-16.

Согласно предоставленной информации, ток короткого замыкания на 1-2 секциях ПС “Строительная” 10 кВ:

$$I_{\text{кзmax_1СШ}}^{(3)} = 9,641 \text{ кА};$$

$$I_{\text{кзmax_2СШ}}^{(3)} = 9,856 \text{ кА};$$

$$I_{\text{кзmin_1СШ}}^{(3)} = 8,611 \text{ кА};$$

$$I_{\text{кзmin_2СШ}}^{(3)} = 8,685 \text{ кА};$$

Произведем расчет схемы замещения для расчета токов короткого замыкания на шинах.

Сопротивление системы определяется:

$$X_{\text{с1_max}} := \frac{U_{\text{ном.сис}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{max.1СШ.ПС_Строительная}}} = 0.3773 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{с1_min}} := \frac{U_{\text{ном.сис}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{min.1СШ.ПС_Строительная}}} = 0.4224 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{с2_max}} := \frac{U_{\text{ном.сис}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{max.2СШ.ПС_Строительная}}} = 0.369 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{с2_min}} := \frac{U_{\text{ном.сис}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{min.2СШ.ПС_Строительная}}} = 0.4188 \text{ Ом}$$

Сопротивление кабеля определяется:

$$R_{\text{кл}} = \frac{R_{\text{уд}} \cdot L_{\text{кл}}}{n};$$

$$X_{\text{кл}} = \frac{X_{\text{уд}} \cdot L_{\text{кл}}}{n};$$

Расчеты сопротивлений кабельных линий выполнены в программно-вычислительном комплексе Mathcad:

Согласовано		
Взам. инв. №		
Подп. и дата		
Инв. № подл.		

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

3

Линия от ПС Строительная до сущ. РП

3хАПвП2Г- 1х500/95-10 - Кабельная трасса ф.11-423(ф.11-416) - яч.15(яч.9) сущ.РП

- $L_{01} := 0.22 \text{ км}$ - Длина кабеля
 $r_{уд1} := 0.089 \text{ Ом/км}$ - Удельное активное сопротивление кабеля
 $x_{уд1} := 0.151 \text{ Ом/км}$ - Удельное реактивное сопротивление кабеля
 $n_1 := 1$ - Количество кабелей
 $X_{01} := \frac{(x_{уд1} \cdot L_{01})}{n_1} = 0.033 \text{ Ом}$ - Индуктивное сопротивление линии
 $R_{01} := \frac{(r_{уд1} \cdot L_{01})}{n_1} = 0.020 \text{ Ом}$ - Активное сопротивление линии
 $Z_{01} := R_{01} + iX_{01} = 0.0196 + 0.0332i \text{ Ом}$ - Полное сопротивление линии

Линия от яч. 8 сущ. РП до КТП №15 и КТП №16

Участок №1 - кабельная линия от яч.8 до опоры №1а

2хААБ2л- 3х120

- $L_{02} := 0.045 \text{ км}$ - Длина кабеля
 $r_{уд2} := 0.261 \text{ Ом/км}$ - Удельное активное сопротивление кабеля
 $x_{уд2} := 0.081 \text{ Ом/км}$ - Удельное реактивное сопротивление кабеля
 $n_2 := 2$ - Количество кабелей
 $X_{02} := \frac{(x_{уд2} \cdot L_{02})}{n_2} = 0.002 \text{ Ом}$ - Индуктивное сопротивление линии
 $R_{02} := \frac{(r_{уд2} \cdot L_{02})}{n_2} = 0.006 \text{ Ом}$ - Активное сопротивление линии

 $Z_{02} := R_{02} + iX_{02} = 0.0059 + 0.0018i \text{ Ом}$ - Полное сопротивление линии

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

4

Участок №2 - воздушная линия от опоры №1а до опоры №73а

3хАС-1х70

$$L_{03} := 3.625 \text{ км}$$

$$r_{уд3} := 0.447 \text{ Ом/км}$$

$$x_{уд3} := 0.086 \text{ Ом/км}$$

$$n_3 := 1$$

$$X_{03} := \frac{(x_{уд3} \cdot L_{03})}{n_3} = 0.312 \text{ Ом}$$

$$R_{03} := \frac{(r_{уд3} \cdot L_{03})}{n_3} = 1.620 \text{ Ом}$$

$$Z_{03} := R_{03} + iX_{03} = 1.6204 + 0.3117i \text{ Ом}$$

- Длина ВЛ
- Удельное активное сопротивление линии
- Удельное реактивное сопротивление линии
- Количество проводов в фазе
- Индуктивное сопротивление линии

Участок №3 - кабельные линии от опоры №73а до КТП №15 и КТП №16

ААБ2л- 3х240

$$L_1 := 0.842 \text{ км}$$

$$L_3 := 1.058 \text{ км}$$

$$r_{уд4} := 0.13 \text{ Ом/км}$$

$$x_{уд4} := 0.075 \text{ Ом/км}$$

$$n_4 := 1$$

$$X_1 := \frac{(x_{уд4} \cdot L_1)}{n_4} = 0.063 \text{ Ом}$$

$$R_1 := \frac{(r_{уд4} \cdot L_1)}{n_4} = 0.109 \text{ Ом}$$

$$Z_1 := R_1 + iX_1 = 0.1095 + 0.0631i \text{ Ом}$$

$$X_3 := \frac{(x_{уд4} \cdot L_3)}{n_4} = 0.079 \text{ Ом}$$

$$R_3 := \frac{(r_{уд4} \cdot L_3)}{n_4} = 0.138 \text{ Ом}$$

$$Z_3 := R_3 + iX_3 = 0.1375 + 0.0794i \text{ Ом}$$

- Длина кабеля до КТП №16
- Длина кабеля до КТП №15
- Удельное активное сопротивление кабеля
- Удельное реактивное сопротивление кабеля
- Количество кабелей
- Индуктивное сопротивление линии L1

- Активное сопротивление линии L1
- Полное сопротивление линии L1

- Индуктивное сопротивление линии L3
- Активное сопротивление линии L3

- Полное сопротивление линии L3

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

5

Линия от яч. 16 сущ. РП до КТП №15 и КТП №16

Участок №1 - кабельная линия от яч.16 до опоры №1а

2хААБ2л- 3х120

$$L_{04} := 0.045 \text{ км}$$

- Длина кабеля

$$r_{уд5} := 0.261 \text{ Ом/км}$$

- Удельное активное сопротивление кабеля

$$x_{уд5} := 0.081 \text{ Ом/км}$$

- Удельное реактивное сопротивление кабеля

$$n_5 := 2$$

- Количество кабелей

$$X_{04} := \frac{(x_{уд5} \cdot L_{04})}{n_5} = 0.002 \text{ Ом}$$

- Индуктивное сопротивление линии

$$R_{04} := \frac{(r_{уд5} \cdot L_{04})}{n_5} = 0.006 \text{ Ом}$$

- Активное сопротивление линии

$$Z_{04} := R_{04} + iX_{04} = 0.0059 + 0.0018i \text{ Ом}$$

- Полное сопротивление линии

Участок №2 - воздушная линия от опоры №1а до опоры №73а

3хАС-1х70

$$L_{05} := 3.625 \text{ км}$$

- Длина ВЛ

$$r_{уд6} := 0.447 \text{ Ом/км}$$

- Удельное активное сопротивление линии

$$x_{уд6} := 0.086 \text{ Ом/км}$$

- Удельное реактивное сопротивление линии

$$n_6 := 1$$

- Количество проводов в фазе

$$X_{05} := \frac{(x_{уд6} \cdot L_{05})}{n_6} = 0.312 \text{ Ом}$$

- Индуктивное сопротивление линии

$$R_{05} := \frac{(r_{уд6} \cdot L_{05})}{n_6} = 1.620 \text{ Ом}$$

- Активное сопротивление линии

$$Z_{05} := R_{05} + iX_{05} = 1.6204 + 0.3117i \text{ Ом}$$

- Полное сопротивление линии

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

6

Участок №3 - кабельные линии от опоры №73а до КТП №15 и КТП №16

ААБ2л- 3х240

$L_2 := 0.852 \text{ км}$

- Длина кабеля до КТП №16

$L_4 := 1.067 \text{ км}$

- Длина кабеля до КТП №15

$r_{уд7} := 0.13 \text{ Ом/км}$

- Удельное активное сопротивление кабеля

$x_{уд7} := 0.075 \text{ Ом/км}$

- Удельное реактивное сопротивление кабеля

$n_7 := 1$

- Количество кабелей

$$X_2 := \frac{(x_{уд7} \cdot L_2)}{n_7} = 0.064 \text{ Ом}$$

- Индуктивное сопротивление линии L2

$$R_2 := \frac{(r_{уд7} \cdot L_2)}{n_7} = 0.111 \text{ Ом}$$

- Активное сопротивление линии L2

$$Z_2 := R_2 + iX_2 = 0.1108 + 0.0639i \text{ Ом}$$

- Полное сопротивление линии L2

$$X_4 := \frac{(x_{уд7} \cdot L_4)}{n_7} = 0.080 \text{ Ом}$$

- Индуктивное сопротивление линии L2

$$R_4 := \frac{(r_{уд7} \cdot L_4)}{n_7} = 0.139 \text{ Ом}$$

- Активное сопротивление линии

$$Z_4 := R_4 + iX_4 = 0.1387 + 0.08i \text{ Ом}$$

- Полное сопротивление линии

Сопротивление короткого замыкания двухобмоточного трансформатора определяется:

$$Z_{тр} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}}.$$

Активное сопротивление трансформатора определяется:

$$r_{тр} = \frac{P_k \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2}.$$

Реактивное сопротивление трансформатора определяется:

$$x_{тр} = \sqrt{Z_{тр}^2 - r_{тр}^2}.$$

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

7

Характеристики трансформаторов

КТП №15(16) трансформаторы ТМГ-1600/10

$$S_{\text{ном.Т1}} := 1600 \text{ кВА}$$

- Номинальная мощность

$$U_{\text{ВН}} := 10 \text{ кВ}$$

- Напряжение высокой стороны

$$U_{\text{НН}} := 0.4 \text{ кВ}$$

- Напряжение низкой стороны

$$u_{\text{к.Т1}} := 6 \%$$

- Напряжение короткого замыкания

$$P_{\text{к.Т1}} := 16500 \text{ Вт}$$

- Потери короткого замыкания

$$I_{\text{ном.Т1}} := \frac{S_{\text{ном.Т1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = 92.376 \text{ А}$$

- Номинальный ток трансформатора

$$K_{\text{пер.Т1}} := 1.4$$

- Коэффициент перегрузки, 1.3-1.4 для масляных, 1-1.2 для сухих

$$I_{\text{макс.раб.Т1}} := K_{\text{пер.Т1}} \cdot I_{\text{ном.Т1}} = 129.326 \text{ А}$$

- Максимальный рабочий ток трансформатора

$$Z_{\text{Т1}} := \frac{u_{\text{к.Т1}} \cdot 1000 \cdot U_{\text{ВН}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном.Т1}}} = 3.75 \text{ Ом}$$

- Сопротивление короткого замыкания тр-ра

$$r_{\text{Т1}} := \frac{P_{\text{к.Т1}} \cdot U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном.Т1}}^2} = 0.6445 \text{ Ом}$$

- Активное сопротивление тр-ра

$$x_{\text{Т1}} := \sqrt{Z_{\text{Т1}}^2 - r_{\text{Т1}}^2} = 3.6942 \text{ Ом}$$

- Реактивное сопротивление тр-ра

Таблица 2.1– Расчетные параметры трансформаторов

Тип	$X_{\text{тр}}, \text{Ом}$	$R_{\text{тр}}, \text{Ом}$
ТМГ-1600/10	3,69	0,64

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

8

3 РАСЧЕТ ТОКОВ КЗ

Ток трехфазного КЗ $I_{\text{кз}}^{(3)}$, А, рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_3^2 + x_3^2}},$$

где U_c – напряжение системы, В;

r_3, x_3 – активное и реактивное сопротивления до точки КЗ, приведенные к ступени напряжения источника, Ом.

Результаты расчета токов короткого замыкания сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Расчет токов КЗ

№	Точка КЗ	$I_{\text{кз.max}}^{(3)} / I_{\text{кз.min}}^{(3)}$, А
К1	ПС Строительная 1СШ	9641 / 8611
К2	ПС Строительная 2СШ	9856 / 8685
К3	1 секция сущ. РП	9133 / 8206
К4	2 секция сущ. РП	9325 / 8273
К5	КТП №15 – 10 кВ	1651 / 1618
	питание от 1 сек. РП	1658 / 1622
К6	КТП №16 – 10 кВ	1674 / 1640
	питание от 2 сек. РП	1681 / 1644
№	Точка КЗ	$I_{\text{кз.max}}^{(3)} / I_{\text{кз.min}}^{(2)}$, А
К7	КТП №15 – 0,4 кВ	730 / 629
	питание от 2 сек. РП	730 / 629
К8	КТП №16 – 0,4 кВ	734 / 632
	питание от 2 сек. РП	735 / 633

Точки короткого замыкания К1-К8 показаны на схеме замещения в приложении А. Расчет точек КЗ из программного-расчетного комплекса MathCAD представлен в приложении Б.

Согласовано			
Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

9

4 РАСЧЕТ УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

4.1 Токовые защиты КТП №15, КТП №16 (БМРЗ-60) 10/0,4 кВ

Расчет уставок КТП №15 приведен в таблице 4.1.1

Таблица 4.1.1 - Расчет уставок РЗиА КТП №15 для Т-1 и Т-2

Исходные данные: Соединение ТТ и реле – «полная звезда». Ксх=1				
Степень	Пар. сраб.	Условие выбора	Расчет	Принимаемое значение
ТО	I _{ср1}	Отстройка от тока КЗ за трансформатором, приведенного к стороне 10 кВ	$I_{ср1} = K_H \cdot I_{кз.макс}^{(3)} = 1,1 \cdot 730 = 803 \text{ А}$	803 А
	I _{ср1}	Отстройка от БТН	$I_{ср1} = K_{БТН} \cdot I_{раб.макс} = 5 \cdot (80 + 71,2) = 756 \text{ А}$	756 А
	Рабочие токи взяты из 68-07-25-ЭС. $I_{раб.Т1} = 80 \text{ А}$; $I_{раб.Т2} = 71,2$			
	I _{ср2}	Вторичный ток срабатывания	$I_{ср2} = \frac{I_{ср}}{K_T} = \frac{803}{200/5} = 20,1$	
	K _ч	Проверка чувствительности	$K_ч = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{ср}} = \frac{1618}{803} = 2,02 \geq 2$	
Минимальное значение $I_{кз.мин}^{(2)}$ при питании от сущ. РП				
Принимаем, I _{то} – 20,1 А; т _{то} – 0 с.				
МТЗ	I _{ср1}	По условию отстройки от самозапуска двигателей нагрузки после восстановления питания	$I_{ср2} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп}}{K_B} (I_{раб.Т2макс} + I_{раб.Т1макс}) = \frac{1,1 \cdot 1,5}{0,95} (71,2 + 80) = 262$	262 А
	I _{ср}	Вторичный ток срабатывания	$I_{ср2} = \frac{I_{ср}}{K_T} = \frac{262}{200/5} = 6,57$	6,57 А
	K _ч	Проверка чувствительности двухфазного КЗ	$K_ч = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{ср}} = \frac{629}{262} = 2,4 > 1,5$	
	t _{МТЗ}	Время срабатывания по согласованию с автоматами на 0,4 кВ	$t_{МТЗ} = t_{AB} + \Delta t = 0,1 + 0,2 = 0,3 \text{ с.}$	
Принимаем, I _{МТЗ} – 6,57 А; t _{МТЗ} – 0,3 с.				
Защита от перегрузки	I _{зп1}	Отстройка от номинального тока ТСН	$I_{зп} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{ном.ВН} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 80 = 88 \text{ А}$ $I_{зп} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{ном.ВН} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 71,2 = 79 \text{ А}$	88 А 79 А
	I _{зп2}	Вторичный ток срабатывания	$I_{зп} = \frac{88}{200/5} = 2,2 \text{ А.}$	

Согласовано			
Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			

Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	--------	------	--------	-------	------

68-07-25-ЭС.РР

Лист

10

			$I_{3П} = \frac{79}{200/5} = 1,98 \text{ А.}$	2,2 А
				1,98 А

Принимаем $I_{3П.Т1} - 2,2 \text{ А, } t - 10 \text{ с.}; I_{3П.Т2} - 1,98 \text{ А, } t - 10 \text{ с.}$

Расчет уставок КТП №16 приведен в таблице 4.1.2

Таблица 4.1.2 - Расчет уставок РЗиА КТП №16 для Т-1 и Т-2

Исходные данные: Соединение ТТ и реле – «полная звезда». $K_{сх}=1$

Ступень	Пар. сраб.	Условие выбора	Расчет	Принимаемое значение
ТО	$I_{ср1}$	Отстройка от тока КЗ за трансформатором, приведенного к стороне 10 кВ	$I_{ср1} = K_H \cdot I_{кз.макс}^{(3)} = 1,1 \cdot 735 = 809 \text{ А}$	809 А
	$I_{ср1}$	Отстройка от БТН	$I_{ср1} = K_{БТН} \cdot I_{раб.макс} = 5 \cdot (48,7 + 45,8) = 473 \text{ А}$	473 А
	Рабочие токи взяты из 68-07-25-ЭС. $I_{раб.Т1} = 48,7 \text{ А}; I_{раб.Т2} = 45,8$			
	$I_{ср2}$	Вторичный ток срабатывания	$I_{ср2} = \frac{I_{ср}}{K_T} = \frac{809}{200/5} = 20,2$	
	$K_{ч}$	Проверка чувствительности	$K_{ч} = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{ср}} = \frac{1640}{809} = 2,03 \geq 2$	
		Минимальное значение $I_{кз.мин}^{(2)}$ при питании от сущ. РП		

Принимаем, $I_{то} - 20,2 \text{ А}; t_{то} - 0 \text{ с.}$

МТЗ	$I_{ср1}$	По условию отстройки от самозапуска двигателей нагрузки после восстановления питания	$I_{ср2} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп}}{K_B} (I_{раб.Т2макс} + I_{раб.Т1макс}) = \frac{1,1 \cdot 1,5}{0,95} (48,7 + 45,8) = 164$	164 А
	$I_{ср}$	Вторичный ток срабатывания	$I_{ср2} = \frac{I_{ср}}{K_T} = \frac{164}{200/5} = 4,1$	4,1 А
	$K_{ч}$	Проверка чувствительности двухфазного КЗ	$K_{ч} = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{ср}} = \frac{632}{164} = 3,85 > 1,5$	
	$t_{МТЗ}$	Время срабатывания по согласованию с автоматами на 0,4 кВ	$t_{МТЗ} = t_{АВ} + \Delta t = 0,1 + 0,2 = 0,3 \text{ с.}$	

Принимаем, $I_{МТЗ} - 4,1 \text{ А}; t_{МТЗ} - 0,3 \text{ с.}$

Защита от перегрузки	$I_{3П1}$	Отстройка от номинального тока ТСН	$I_{3П} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{ном.ВН} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 48,7 = 54 \text{ А}$	54 А
			$I_{3П} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{ном.ВН} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 45,8 = 51 \text{ А}$	51 А

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

11

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

	Изп2	Вторичный ток срабатывания	$I_{3П} = \frac{54}{200/5} = 1,35 \text{ А.}$ $I_{3П} = \frac{51}{200/5} = 1,28 \text{ А.}$	1,35 А 1,28 А
Принимаем Изп.т1 – 1,35 А, t - 10 с.; Изп.т2 – 1,28 А, t - 10 с.				

КАРТА УСТАВОК (РЕКОМЕНДУЕМАЯ)

В таблице 4.1.3 приведена рекомендуемая карта уставок.

Таблица 4.1.3 - Карта уставок

Место установки РЗА		Выбранное реле	Функция защиты	К _{тр}	I _{ср} А	t _{ср} с
Объект	Ячейка					
КТП №15	Т-1	БМРЗ-60	ТО	200/5	20,1	0
			МТЗ		6,57	0,3
			ЗП		2,2	10
	Т-2	БМРЗ-60	ТО	200/5	20,1	0
			МТЗ		6,57	0,3
			ЗП		1,98	10
КТП №16	Т-1	БМРЗ-60	ТО	200/5	20,2	0
			МТЗ		4,1	0,3
			ЗП		1,35	10
	Т-2	БМРЗ-60	ТО	200/5	20,2	0
			МТЗ		4,1	0,3
			ЗП		1,28	10

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата

68-07-25-ЭС.РР

Лист

12

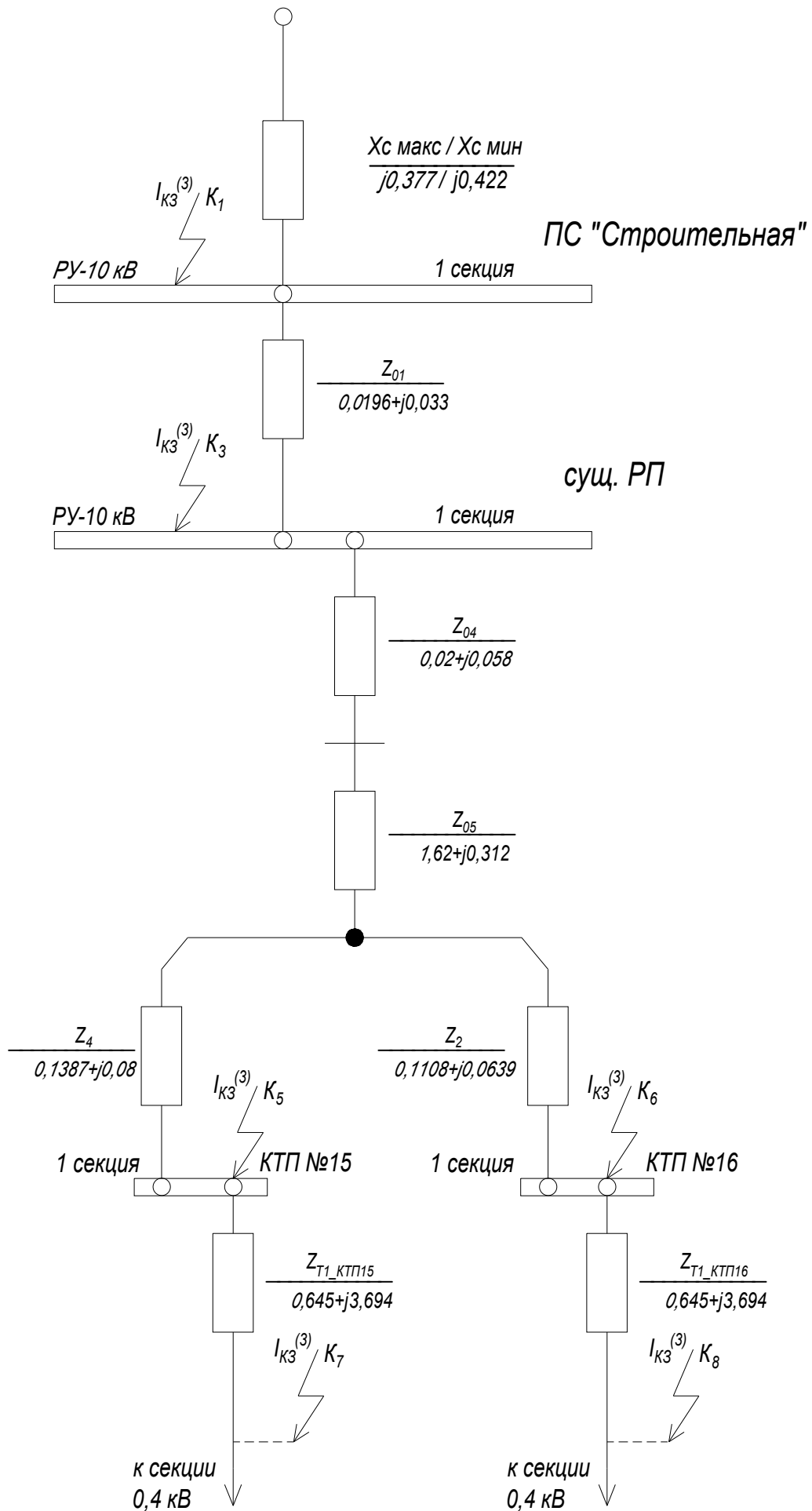
ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ РАСЧЕТАХ

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005.
2. ГОСТ Р 59909-2021 «Релейная защита и автоматика. Классификация»,
3. РД 34.20.185 «Инструкция по проектированию устройств релейной защиты»,
4. РД 34.35.310-97 «Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем»,
5. Шабад М.А. Защита трансформаторов распределительных сетей. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981-136с., ил.
6. СТО ДИВГ-059-2025. Релейная защита распределительных сетей 6-10 кВ. Методические указания. СПб: ООО «НТЦ «Механотроника», 2025
7. СТО ДИВГ-058-2017. Расчет токов коротких замыканий и замыканий на землю в распределительных сетях. Методические указания. СПб: ООО «НТЦ «Механотроника», 2017
8. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит, кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1988 – 172с.

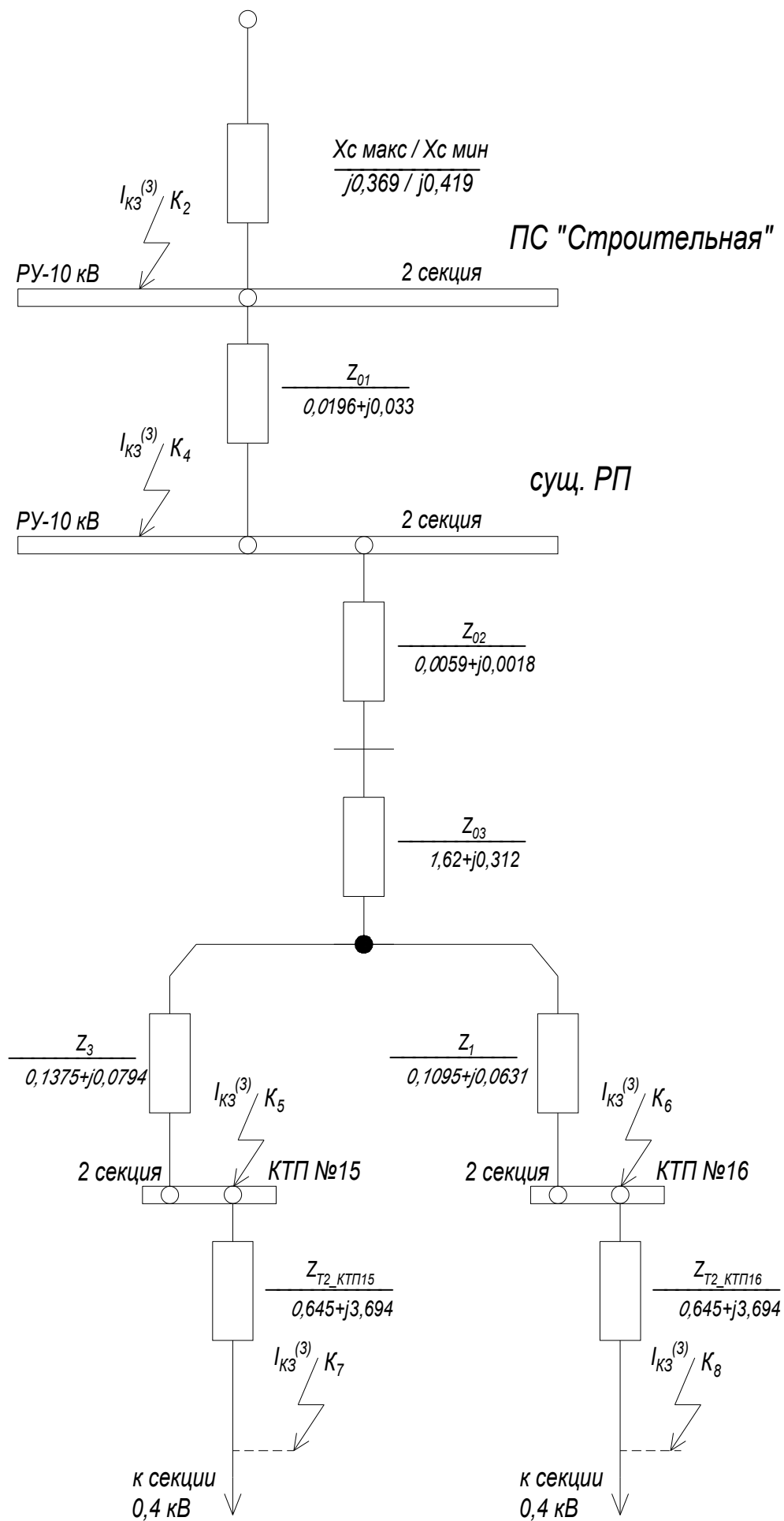
Согласовано		
Взам. инв. №		
Подп. и дата		
Инв. № подл.		

						68-07-25-ЭС.РР	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		13

Приложение А
Питание от 1 секции сущ. РП



Питание от 2 секции суц. РП



Приложение Б

Расчет ТКЗ

Точка КЗ - шины сущ. РП, 1 секция:

$$Z_{\text{ЭКВ1}} := X_{\text{с1_max}} + Z_{01} = 0.3969 + 0.0332i \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{КЗ3_max_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ1}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ1}})\right)^2} = 0.398 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ1_max}} := \frac{U_{\text{НОМ.сис}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ3_max_РП}}} = 9.133 \cdot \text{кА}$$

$$Z_{\text{ЭКВ2}} := X_{\text{с1_min}} + Z_{01} = 0.442 + 0.0332 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{КЗ3_min_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ2}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ2}})\right)^2} = 0.443 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ3_min}} := \frac{U_{\text{НОМ.сис}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ3_min_РП}}} = 8.2064 \text{ кА}$$

Точка К4 - шины сущ. РП, 2 секция:

$$Z_{\text{ЭКВ3}} := X_{\text{с2_max}} + Z_{01} = 0.3886 + 0.0332 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{КЗ4_max_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ3}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ3}})\right)^2} = 0.390 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ4_max}} := \frac{U_{\text{НОМ.сис}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ4_max_РП}}} = 9.325 \cdot \text{кА}$$

$$Z_{\text{ЭКВ4}} := X_{\text{с2_min}} + Z_{01} = 0.4384 + 0.0332 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{КЗ4_min_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ4}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ4}})\right)^2} = 0.439 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ4_min}} := \frac{U_{\text{НОМ.сис}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ4_min_РП}}} = 8.2734 \text{ кА}$$

Точка К5 - шины КТП №15, питание от 1 секции сущ.РП:

$$Z_{\text{ЭКВ5}} := Z_{\text{ЭКВ1}} + Z_{04} + Z_{05} + Z_4 = 2.1618 + 0.4268 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ6}} := Z_{\text{ЭКВ2}} + Z_{04} + Z_{05} + Z_4 = 2.2069 + 0.4268 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{КЗ5_1сек_max_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ5}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ5}})\right)^2} = 2.203 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{КЗ5_1сек_min_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ6}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ6}})\right)^2} = 2.247 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{КЗ5_1сек_max}} := \frac{U_{\text{НОМ.сис}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ5_1сек_max_РП}}} = 1.650 \cdot \text{кА}$$

$$I_{\text{КЗ5_1сек_min}} := \frac{U_{\text{НОМ.сис}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ5_1сек_min_РП}}} = 1.6181 \text{ кА}$$

Точка К5 - шины КТП №15, питание от 2 секции сущ.РП:

$$Z_{\text{ЭКВ7}} := Z_{\text{ЭКВ3}} + Z_{02} + Z_{03} + Z_3 = 2.1524 + 0.4261 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ8}} := Z_{\text{ЭКВ4}} + Z_{02} + Z_{03} + Z_3 = 2.2022 + 0.4261i \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{К35_2сек_max_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ7}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ7}})\right)^2} = 2.194 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{К35_2сек_min_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ8}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ8}})\right)^2} = 2.243 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{К35_2сек_max}} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К35_2сек_max_РП}}} = 1.657 \text{ кА}$$

$$I_{\text{К35_2сек_min}} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К35_2сек_min_РП}}} = 1.6216 \text{ кА}$$

Точка К6 - шины КТП №16, питание от 1 секции сущ.РП:

$$Z_{\text{ЭКВ9}} := Z_{\text{ЭКВ1}} + Z_{04} + Z_{05} + Z_2 = 2.1339 + 0.4107 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ10}} := Z_{\text{ЭКВ2}} + Z_{04} + Z_{05} + Z_2 = 2.179 + 0.4107 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{К36_1сек_max_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ9}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ9}})\right)^2} = 2.173 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{К36_1сек_min_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ10}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ10}})\right)^2} = 2.217 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{К36_1сек_max}} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К36_1сек_max_РП}}} = 1.673 \text{ кА}$$

$$I_{\text{К36_1сек_min}} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К36_1сек_min_РП}}} = 1.6404 \text{ кА}$$

Точка К6 - шины КТП №16, питание от 2 секции сущ.РП:

$$Z_{\text{ЭКВ11}} := Z_{\text{ЭКВ3}} + Z_{02} + Z_{03} + Z_1 = 2.1243 + 0.4099 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ12}} := Z_{\text{ЭКВ4}} + Z_{02} + Z_{03} + Z_1 = 2.1741 + 0.4099 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{К36_2сек_max_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ11}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ11}})\right)^2} = 2.163 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{К36_2сек_min_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ12}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ12}})\right)^2} = 2.212 \text{ Ом}$$

$$I_{\text{К36_2сек_max}} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К36_2сек_max_РП}}} = 1.681 \text{ кА}$$

$$I_{\text{К36_2сек_min}} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К36_2сек_min_РП}}} = 1.6441 \text{ кА}$$

Точка К7 - сторона 0,4 кВ КТП №15 питание от 1 секции сущ. РП:

$$Z_{\text{ЭКВ13_макс}} := Z_{\text{ЭКВ5}} + Z_{\text{T1}} = 2.8063 + 4.121i \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ14_мин}} := Z_{\text{ЭКВ6}} + Z_{\text{T1}} = 2.8515 + 4.121i \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{К37_1сек_max_РП}} := \sqrt{\left(\text{Im}(Z_{\text{ЭКВ13_макс}})\right)^2 + \left(\text{Re}(Z_{\text{ЭКВ13_макс}})\right)^2} = 4.985 \text{ Ом}$$

$$Z_{K37_1сек_min_РП} := \sqrt{\left(\operatorname{Im}\left(Z_{\text{ЭКВ}14_мин}\right)\right)^2 + \left(\operatorname{Re}\left(Z_{\text{ЭКВ}14_мин}\right)\right)^2} = 5.0114 \text{ Ом}$$

$$I_{K37_1сек_max} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K37_1сек_max_РП}} = 0.729 \text{ кА}$$

$$I_{K37_1сек_min} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K37_1сек_min_РП}} = 0.7258 \text{ кА}$$

Точка К7 - сторона 0,4 кВ КТП №15 питание от 2 секции сущ. РП:

$$Z_{\text{ЭКВ}15_макс} := Z_{\text{ЭКВ}7} + Z_{T1} = 2.7969 + 4.1203 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ}16_мин} := Z_{\text{ЭКВ}8} + Z_{T1} = 2.8467 + 4.1203i \text{ Ом}$$

$$Z_{K37_2сек_max_РП} := \sqrt{\left(\operatorname{Im}\left(Z_{\text{ЭКВ}15_макс}\right)\right)^2 + \left(\operatorname{Re}\left(Z_{\text{ЭКВ}15_макс}\right)\right)^2} = 4.980 \text{ Ом}$$

$$Z_{K37_2сек_min_РП} := \sqrt{\left(\operatorname{Im}\left(Z_{\text{ЭКВ}16_мин}\right)\right)^2 + \left(\operatorname{Re}\left(Z_{\text{ЭКВ}16_мин}\right)\right)^2} = 5.0081 \text{ Ом}$$

$$I_{K37_2сек_max} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K37_2сек_max_РП}} = 0.730 \text{ кА}$$

$$I_{K37_2сек_min} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K37_2сек_min_РП}} = 0.7263 \text{ кА}$$

Точка К8 - сторона 0,4 кВ КТП №16 питание от 1 секции сущ. РП:

$$Z_{\text{ЭКВ}17_макс} := Z_{\text{ЭКВ}9} + Z_{T1} = 2.7784 + 4.1049 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ}18_мин} := Z_{\text{ЭКВ}10} + Z_{T1} = 2.8235 + 4.1049i \text{ Ом}$$

$$Z_{K38_1сек_max_РП} := \sqrt{\left(\operatorname{Im}\left(Z_{\text{ЭКВ}17_макс}\right)\right)^2 + \left(\operatorname{Re}\left(Z_{\text{ЭКВ}17_макс}\right)\right)^2} = 4.956 \text{ Ом}$$

$$Z_{K38_1сек_min_РП} := \sqrt{\left(\operatorname{Im}\left(Z_{\text{ЭКВ}18_мин}\right)\right)^2 + \left(\operatorname{Re}\left(Z_{\text{ЭКВ}18_мин}\right)\right)^2} = 4.9822 \text{ Ом}$$

$$I_{K38_1сек_max} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K38_1сек_max_РП}} = 0.733 \text{ кА}$$

$$I_{K38_1сек_min} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K38_1сек_min_РП}} = 0.7301 \text{ кА}$$

Точка К8 - сторона 0,4 кВ КТП №16 питание от 2 секции сущ. РП:

$$Z_{\text{ЭКВ}19_макс} := Z_{\text{ЭКВ}11} + Z_{T1} = 2.7689 + 4.1041 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{ЭКВ}20_мин} := Z_{\text{ЭКВ}12} + Z_{T1} = 2.8186 + 4.1041i \text{ Ом}$$

$$Z_{K38_2сек_max_РП} := \sqrt{\left(\operatorname{Im}\left(Z_{\text{ЭКВ}19_макс}\right)\right)^2 + \left(\operatorname{Re}\left(Z_{\text{ЭКВ}19_макс}\right)\right)^2} = 4.950 \text{ Ом}$$

$$Z_{K38_2сек_min_РП} := \sqrt{\left(\operatorname{Im}\left(Z_{\text{ЭКВ}20_мин}\right)\right)^2 + \left(\operatorname{Re}\left(Z_{\text{ЭКВ}20_мин}\right)\right)^2} = 4.9788 \text{ Ом}$$

$$I_{K38_2сек_max} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K38_2сек_max_РП}} = 0.734 \text{ кА}$$

$$I_{K38_2сек_min} := \frac{U_{\text{НОМ.СИС}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K38_2сек_min_РП}} = 0.7306 \text{ кА}$$