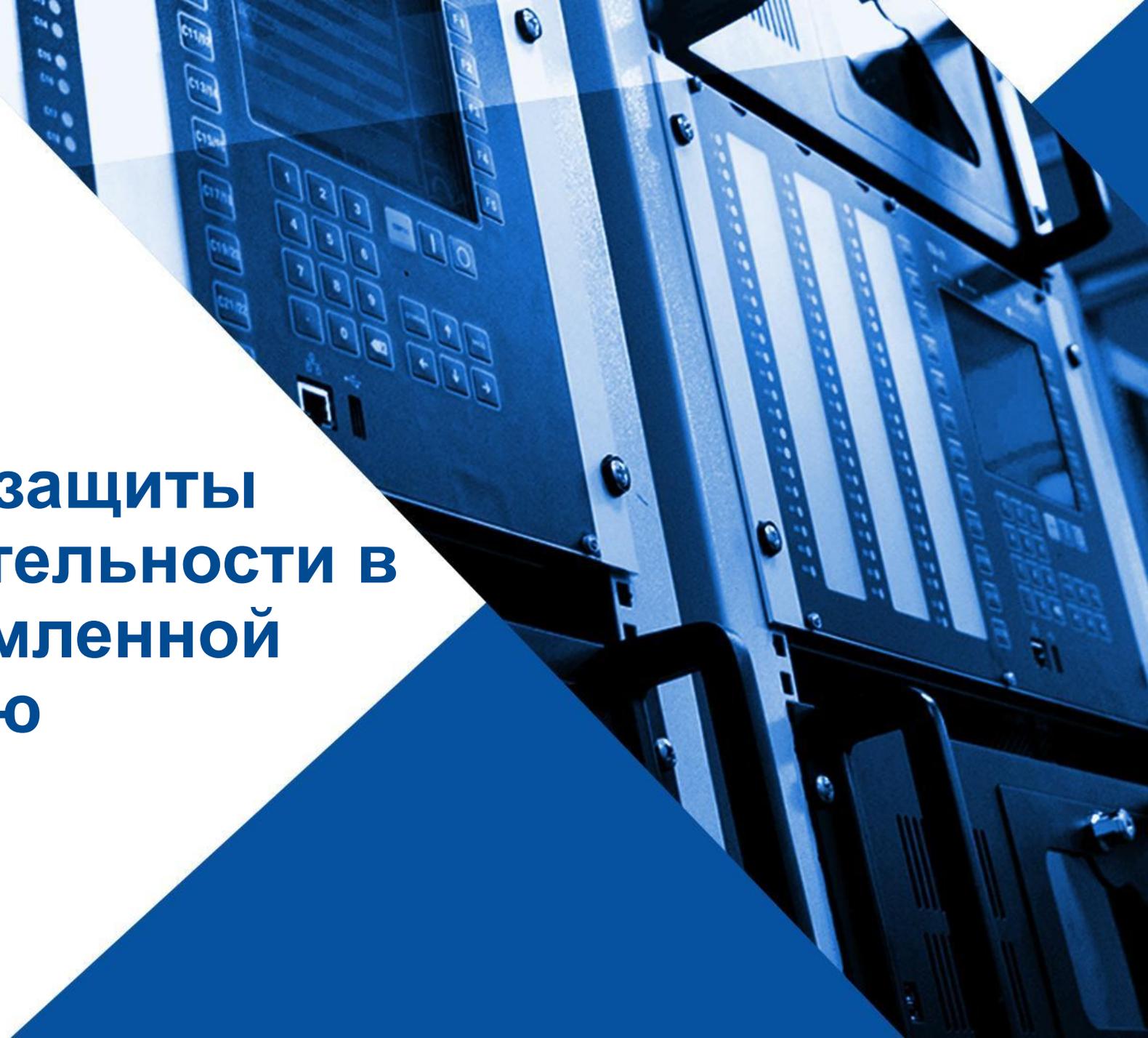
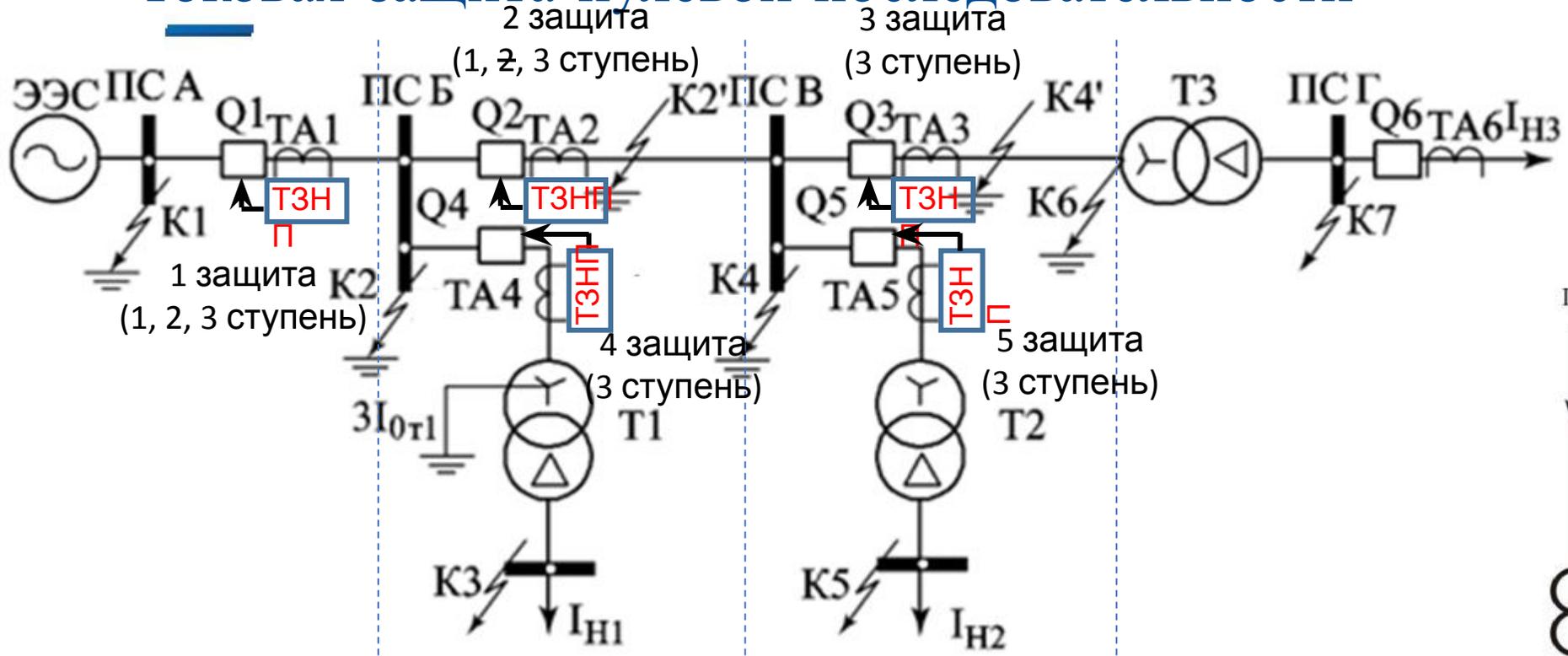




Расчет токовой защиты нулевой последовательности в сети с глухозаземленной нейтралью



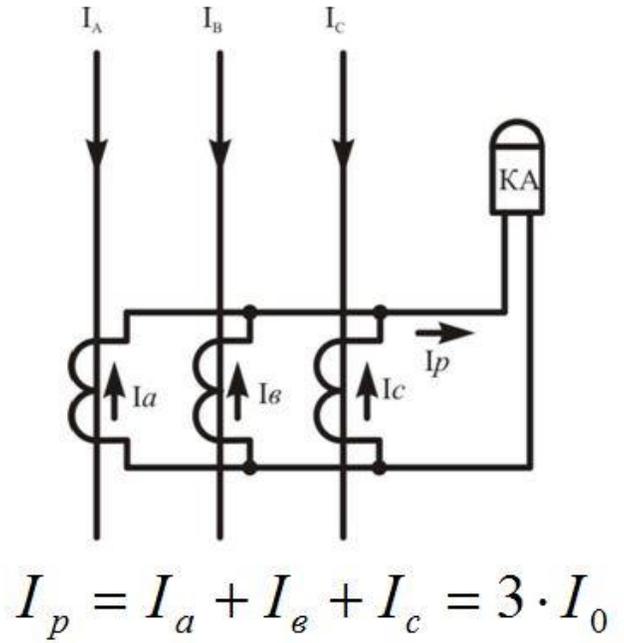
Токовая защита нулевой последовательности



считаем
последним

считаем
первыми

...

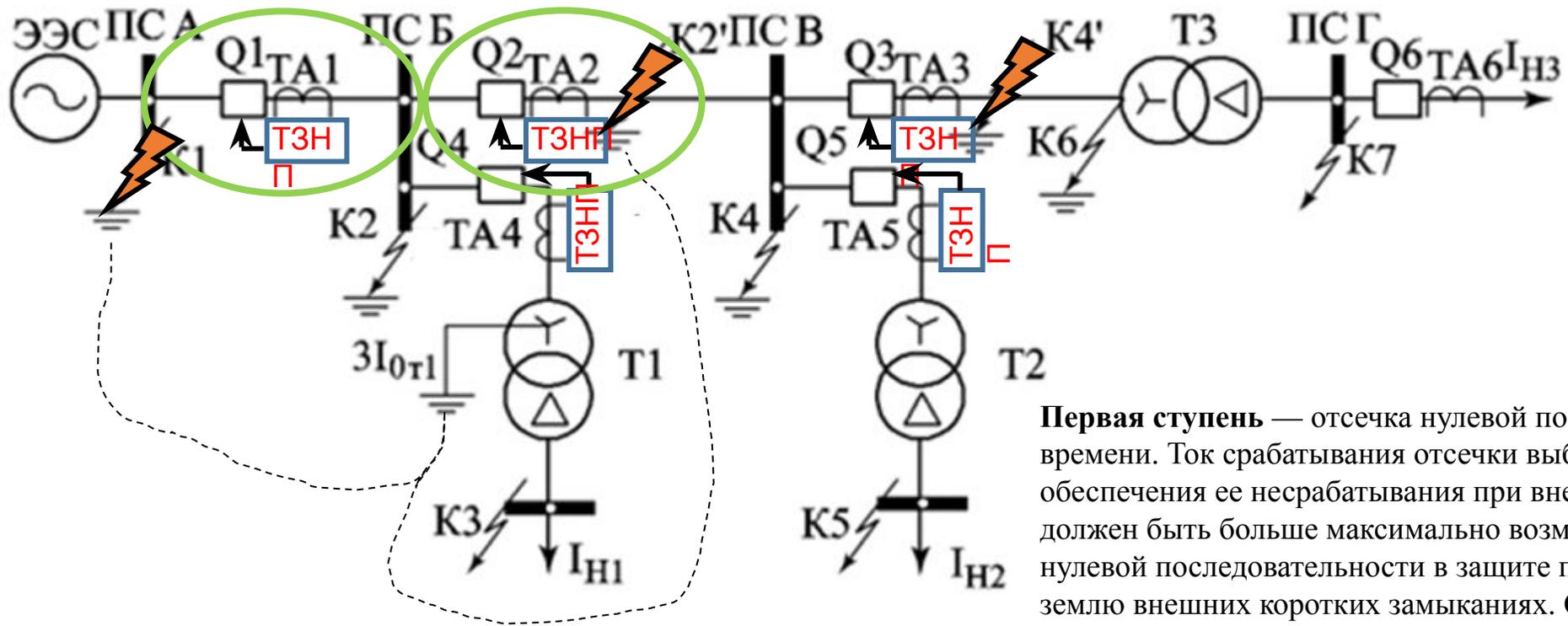


$$I_p = I_a + I_b + I_c = 3 \cdot I_0$$

- Первая ступень – отсечка нулевой последовательности без выдержки времени
- Вторая ступень – отсечка нулевой последовательности с выдержкой времени
- Третья ступень – чувствительная ступень (ТЗНП)

считаем
первыми
...
считаем
последними

Первая ступень



Для защиты, устанавливаемой на первом участке рассматриваемой сети $3I_{0max}$ равен:

$$3I_{0max.31} = I_{(K2')}^{(1)} - 3I_{OT(K2')}$$

Для защиты, устанавливаемой на втором участке рассматриваемой сети $3I_{0max}$ равен:

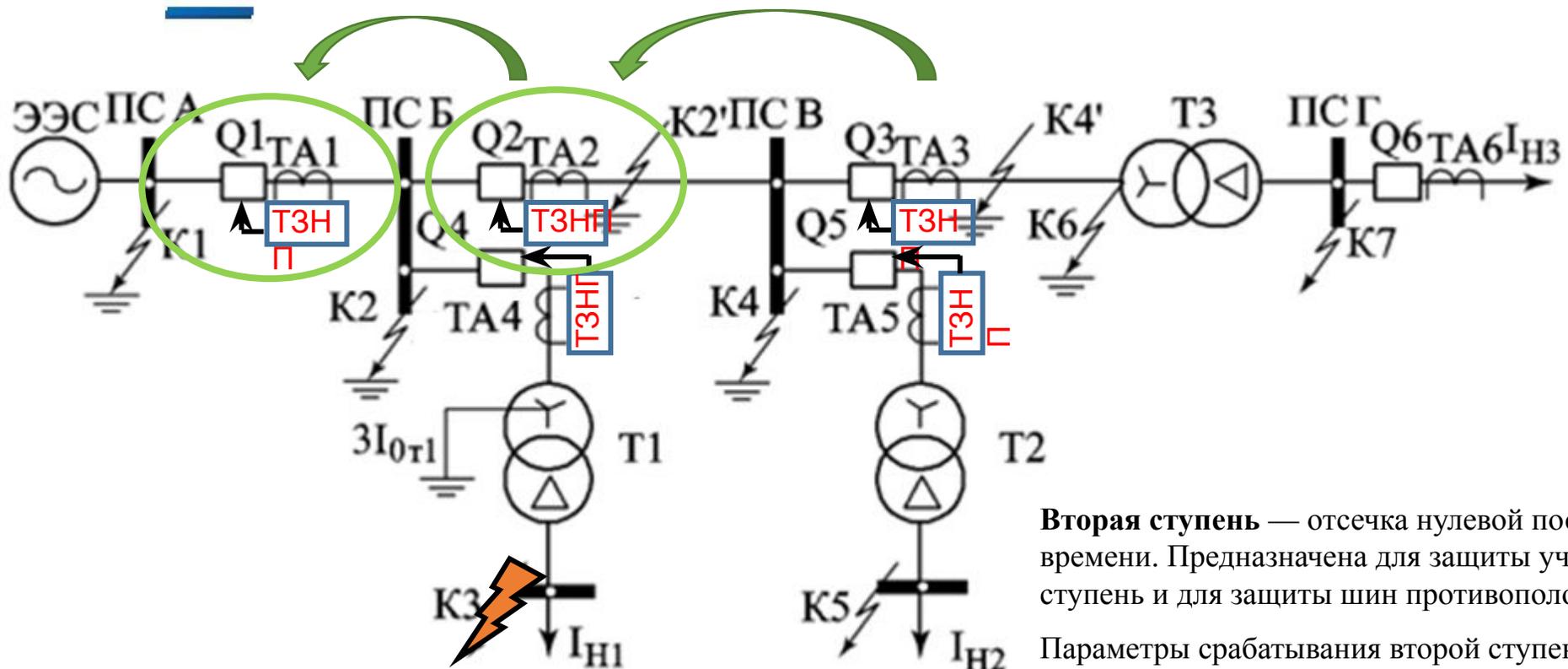
$$3I_{0max.32} = I_{(K4')}^{(1)}$$

Первая ступень — отсечка нулевой последовательности без выдержки времени. Ток срабатывания отсечки выбирается, исходя из условий обеспечения ее несрабатывания при внешних коротких замыканиях, и потому должен быть больше максимально возможного значения утроенного тока нулевой последовательности в защите при однофазных или двухфазных на землю внешних коротких замыканиях. Ступень предназначена для отключения защищаемого поврежденного участка при коротких замыканиях в его начале.

Ток срабатывания первой ступени расцепителя выбирается в соответствии с выражением, который в защите при КЗ на землю $I_{с.з.0}^I > k_{отс}^I \cdot 3I'_{0з}$, где $k_{отс}^I$ — коэффициент отстройки, учитывающий случайные погрешности, а также наличие в токе КЗ аperiodической составляющей, $I_{с.з.0}^I$ — максимальный ток нулевой последовательности, протекающий в защите при КЗ в начале смежного участка.

$$3I'_{0з} = 3I_{OT(K1)}$$

Вторая ступень



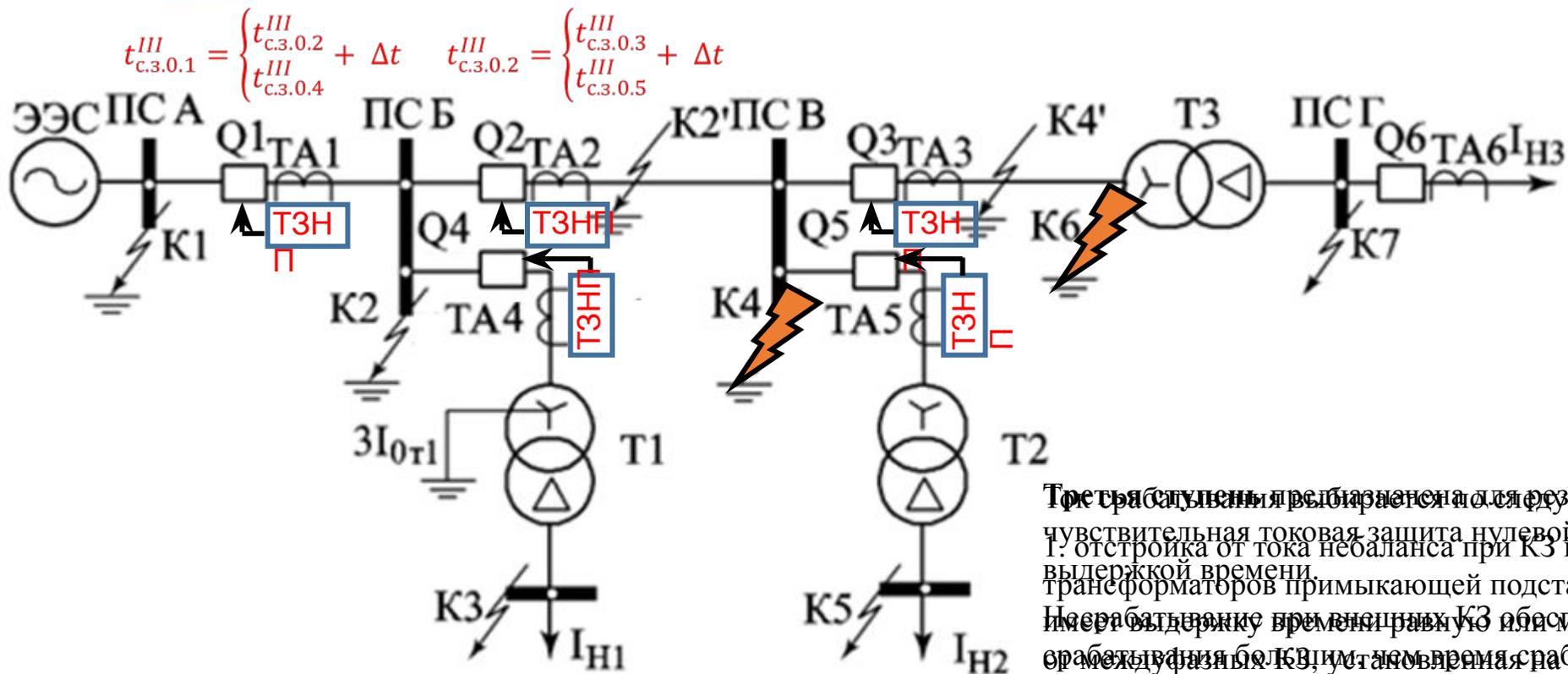
где $I_{расч}$ — максимальное значение фазного тока, протекающего в месте установки защиты при трехфазных КЗ за трансформаторами, где $k_{отс} = 1,1$ — коэффициент отстройки для второй ступени; $k_{Т} = I_{0.защ} / I_{см}$ — коэффициент, учитывающий различие токов в защитах смежных элемен-тов при КЗ в конце зоны, защищаемой погрешностей трансформаторов тока фильтра тока нулевой последовательности и зависящий от кратности тока $I_{расч}$ по отношению к номинальному току трансформаторов тока; $k_{ап}$ — коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме, принимается равным: 2,0 — при $t_{с.з} \leq 0,1$ с; 1,0 — при $t_{с.з} \geq 0,5$ с, т.е. для II ступени $k_{ап} = 1,0$; $k_{отс} = 1,25$ — коэффициент отстройки;

Вторая ступень — отсечка нулевой последовательности с выдержкой времени. Предназначена для защиты участка линии, где не работает первая ступень и для защиты шин противоположной (приемной) подстанции. Параметры срабатывания второй ступени выбираются из условия исключения излишних срабатываний этой ступени при КЗ на смежных элементах. Для долгого времени срабатывания проверяется не ступень селективности, а возможность срабатывания при быстрейших действиях защиты (трансформаторной дифференциальной) установленных на смежных элементах:

$$I_{с.з.0}^{II} > \frac{k_{отс} \cdot k_{ап} \cdot k_{Т} \cdot I_{расч}}{k_{одн} \approx k_{отс} \cdot k_{Т} \cdot \epsilon}$$

Выражение для тока срабатывания второй ступени имеет вид: где $k_{одн}$ — коэффициент однофазности трансформаторов тока; ϵ — полная погрешность трансформатора тока (в данном случае можно принять $k_{нб} \approx 0,05$);

Третья ступень (ТЗНП)



Чувствительность защиты от КЗ на землю в конце смежных элементов (в данном упражнении можно принять);

$$k_{\text{отс}} = 1,25.$$

Чувствительность защиты от КЗ на землю в конце смежных элементов (в данном упражнении можно принять);

$$k_{\text{ч.0}}^{III} \geq 1,2$$

$k_{\text{в}}$ — коэффициент возврата реле тока;

$I_{0.\text{н.р}}$ — ток нулевой последовательности, обусловленный несимметрией в системе в рабочем режиме (в данном упражнении можно принять);

Третья ступень предназначена для резервирования и выполняется как чувствительная токовая защита нулевой последовательности с независимой выдержкой времени.

1. отстройка от тока небаланса при КЗ на стороне низшего напряжения трансформаторов примыкающей подстанции (если рассматриваемая ступень не обеспечивает выдержку времени равную или меньшую, чем резервная защита МТЗ на смежном элементе);

$$I_{\text{с.3.0}}^{III} \geq k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{ап}} \cdot k_{\text{нб}} \cdot I_{\text{расч}}$$

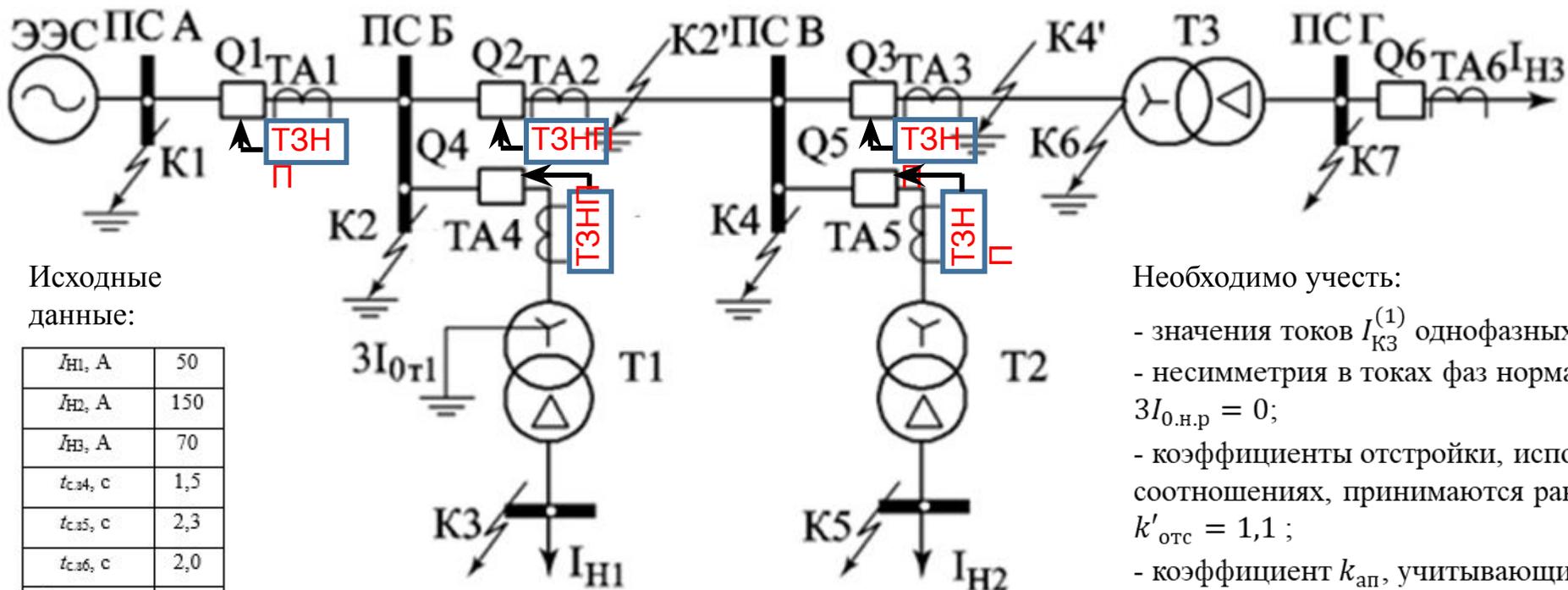
2. согласование по чувствительности с предыдущими ступенями защиты от КЗ на землю смежных участков

$$I_{\text{с.3.0}}^{III} \geq k'_{\text{отс}} \cdot k_{\text{т}} \cdot I_{\text{с.3.0.см}}^{III}, \text{ где } k'_{\text{отс}} = 1,1$$

3. обеспечения возврата реле тока после отключения внешних КЗ по выражению:

$$I_{\text{с.3.0}}^{III} \geq \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} \cdot (k_{\text{ап}} \cdot k_{\text{нб}} \cdot k_{\text{з}} \cdot I_{\text{раб.мах}} + 3I_{0.\text{н.р}}),$$

Пример расчета



Исходные данные:

$I_{Н1}$, А	50
$I_{Н2}$, А	150
$I_{Н3}$, А	70
$t_{с.з4}$, с	1,5
$t_{с.з5}$, с	2,3
$t_{с.з6}$, с	2,0
$I_{К2(К2')}^{(1)}$, кА	5,1
$I_{К4(К4')}^{(1)}$, кА	3,0
$I_{К6}^{(1)}$, кА	2,3
$3I_{OT(K1)}$, кА	0,1
$3I_{OT(K2')}$, кА	0,35
$I_{К3}^{(3)}$, кА	1,5
$I_{К5}^{(3)}$, кА	1,0
$I_{К7}^{(3)}$, кА	0,7
k_3	1,8

Необходимо учесть:

$$3I_{0.н.р} = 0;$$

$$k_{отс}^I = k_{отс} = 1,25; k_{отс}^{II} = k'_{отс} = 1,1;$$

$$k_{ап} = 2 \text{ при } t_{с.з.0} \leq 0,1 \text{ с и } k_{ап} = 1 \text{ — при } t_{с.з.0} \geq 0,5 \text{ с};$$

$$k_{нб} \approx 0,05, k_B = 0,9.$$

Результаты расчета МТЗ:

	Защита №3	Защита №2	Защита №1
$I_{с.з.МТЗ}$, кА	0,168	0,528	0,648
$t_{с.з.МТЗ}$, с	2,5	3,0	3,5

Необходимо учесть:

- значения токов $I_{К3}^{(1)}$ однофазных КЗ, приведены для места КЗ;

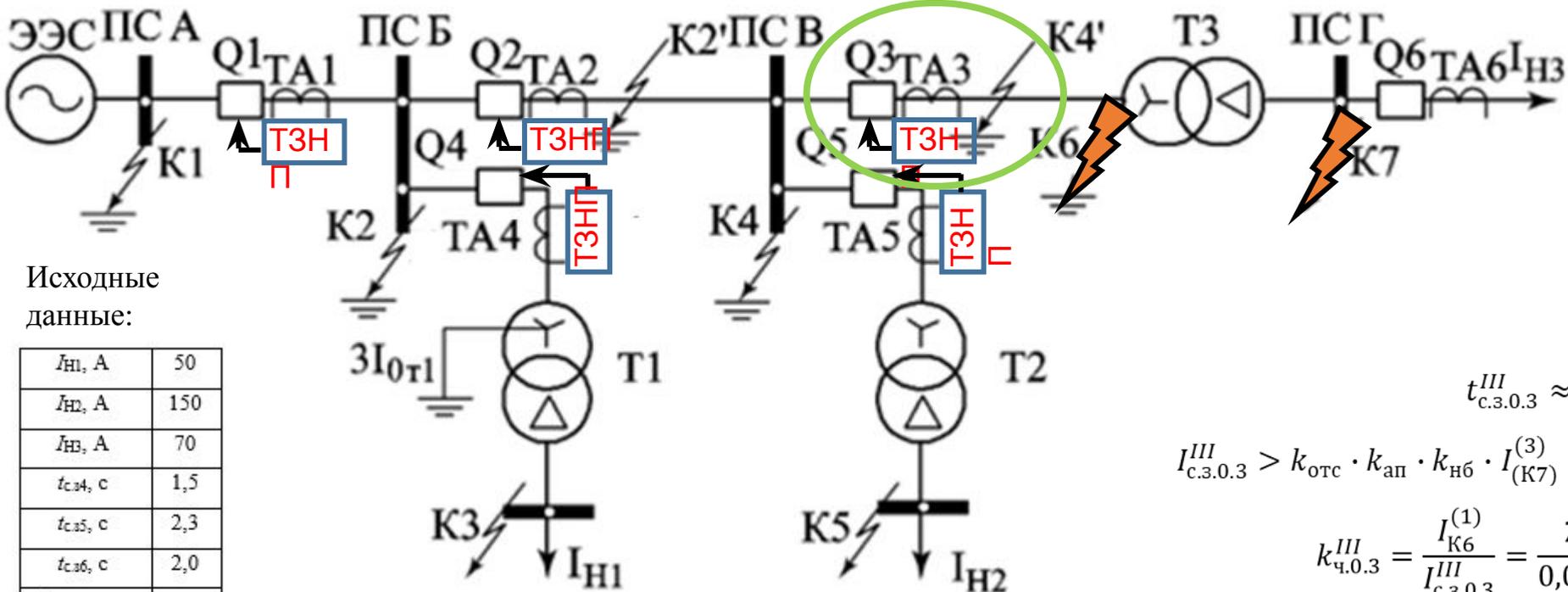
- несимметрия в токах фаз нормального режима отсутствует, т.е. $3I_{0.н.р} = 0$;

- коэффициенты отстройки, используемые в расчетных соотношениях, принимаются равными: $k_{отс}^I = k_{отс} = 1,25$; $k_{отс}^{II} = k'_{отс} = 1,1$;

- коэффициент $k_{ап}$, учитывающий переходный режим, можно принять равным: $k_{ап} = 2$ при $t_{с.з.0} \leq 0,1$ с и $k_{ап} = 1$ — при $t_{с.з.0} \geq 0,5$ с;

- коэффициент небаланса $k_{нб} \approx 0,05$, коэффициент возврата реле тока $k_B = 0,9$.

Пример расчета (Защита 3)



Исходные данные:

$I_{Н1}, A$	50
$I_{Н2}, A$	150
$I_{Н3}, A$	70
$t_{с.34}, c$	1,5
$t_{с.35}, c$	2,3
$t_{с.36}, c$	2,0
$I_{K2(K2')}, kA^{(1)}$	5,1
$I_{K4(K4')}, kA^{(1)}$	3,0
$I_{K6}, kA^{(1)}$	2,3
$3I_{OT(K1)}, kA$	0,1
$3I_{OT(K2')}, kA$	0,35
$I_{K3}, kA^{(3)}$	1,5
$I_{K5}, kA^{(3)}$	1,0
$I_{K7}, kA^{(3)}$	0,7
k_3	1,8

Необходимо учесть:

$3I_{0.н.р} = 0;$
 $k_{отс}^I = k_{отс} = 1,25; k_{отс}^{II} = k'_{отс} = 1,1;$
 $k_{ап} = 2$ при $t_{с.3.0} \leq 0,1 c$ и $k_{ап} = 1$ — при $t_{с.3.0} \geq 0,5 c;$
 $k_{Н6} \approx 0,05, k_B = 0,9.$

Результаты расчета МТЗ:

	Защита №3	Защита №2	Защита №1
$I_{с.3.МТЗ}, kA$	0,168	0,528	0,648
$t_{с.3.МТЗ}, c$	2,5	3,0	3,5

$$t_{с.3.0.3}^{III} \approx 0$$

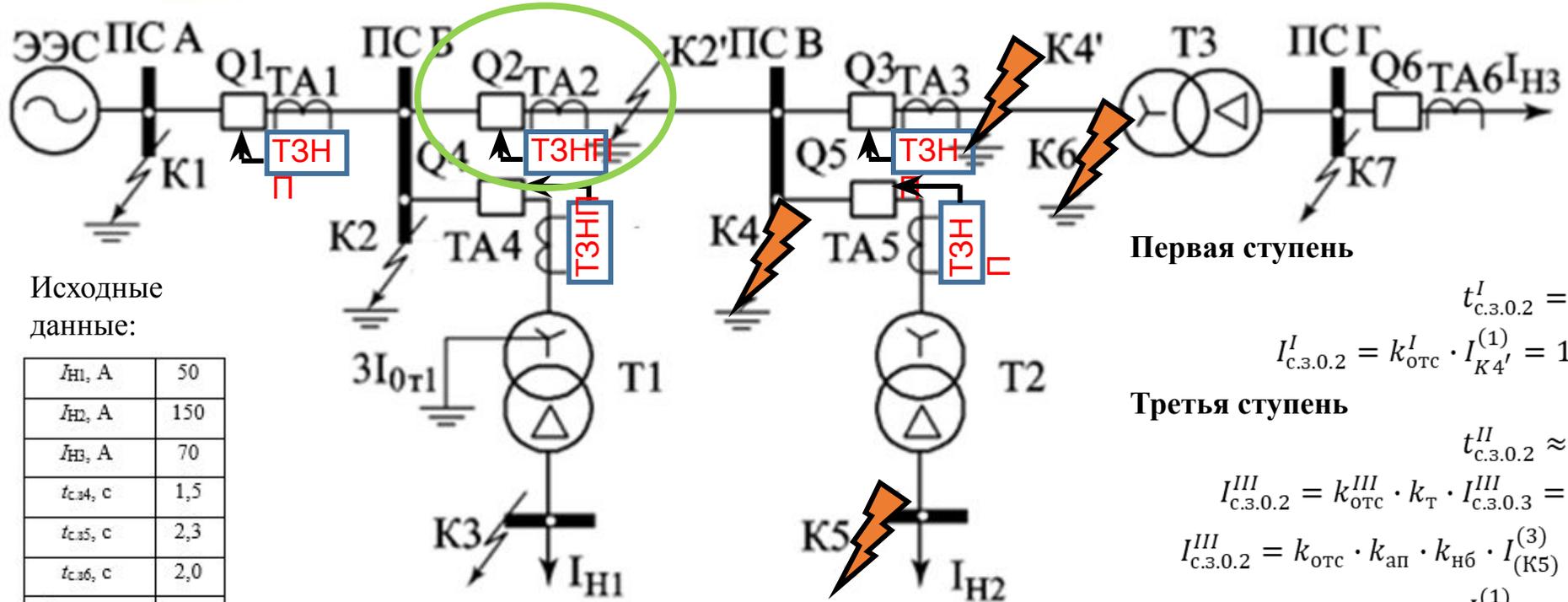
$$I_{с.3.0.3}^{III} > k_{отс} \cdot k_{ап} \cdot k_{Н6} \cdot I_{(K7)}^{(3)} = 1,25 \cdot 2 \cdot 0,05 \cdot 0,7 = 0,0875 A$$

$$k_{ч.0.3}^{III} = \frac{I_{K6}^{(1)}}{I_{с.3.0.3}^{III}} = \frac{2,3}{0,0875} = 26,3 > 1,2$$

Для повышения надежности ликвидации К3 на рассматриваемом участке можно произвести аппаратное резервирование, т.е. установить два комплекта защит III степени.

Защита	I - ступень		II - ступень		III - ступень	
1						
2						
3	-	-	-	-	0	0,0875

Пример расчета (Защита 2)



Исходные данные:

$I_{Н1}, A$	50
$I_{Н2}, A$	150
$I_{Н3}, A$	70
$t_{с.34}, c$	1,5
$t_{с.35}, c$	2,3
$t_{с.36}, c$	2,0
$I_{K2(K2')}, kA^{(1)}$	5,1
$I_{K4(K4')}, kA^{(1)}$	3,0
$I_{K6}, kA^{(1)}$	2,3
$3I_{OT(K1)}, kA$	0,1
$3I_{OT(K2')}, kA$	0,35
$I_{K3}, kA^{(3)}$	1,5
$I_{K5}, kA^{(3)}$	1,0
$I_{K7}, kA^{(3)}$	0,7
k_3	1,8

Необходимо учесть:

$3I_{0.н.р} = 0;$
 $k_{отс}^I = k_{отс} = 1,25; k_{отс}^{II} = k'_{отс} = 1,1;$
 $k_{ап} = 2$ при $t_{с.3.0} \leq 0,1 c$ и $k_{ап} = 1$ — при $t_{с.3.0} \geq 0,5 c;$
 $k_{Н6} \approx 0,05, k_B = 0,9.$

Результаты расчета МТЗ:

	Защита №3	Защита №2	Защита №1
$I_{с.3.МТЗ}, kA$	0,168	0,528	0,648
$t_{с.3.МТЗ}, c$	2,5	3,0	3,5

Первая ступень

$$t_{с.3.0.2}^I = 0 c$$

$$I_{с.3.0.2}^I = k_{отс}^I \cdot I_{K4'}^{(1)} = 1,25 \cdot 3,0 = 3,75 kA$$

Третья ступень

$$t_{с.3.0.2}^{II} \approx 0,5 c$$

$$I_{с.3.0.2}^{III} = k_{отс}^{III} \cdot k_T \cdot I_{с.3.0.3}^{III} = 1,1 \cdot 1,0 \cdot 0,0875 = 0,096 kA$$

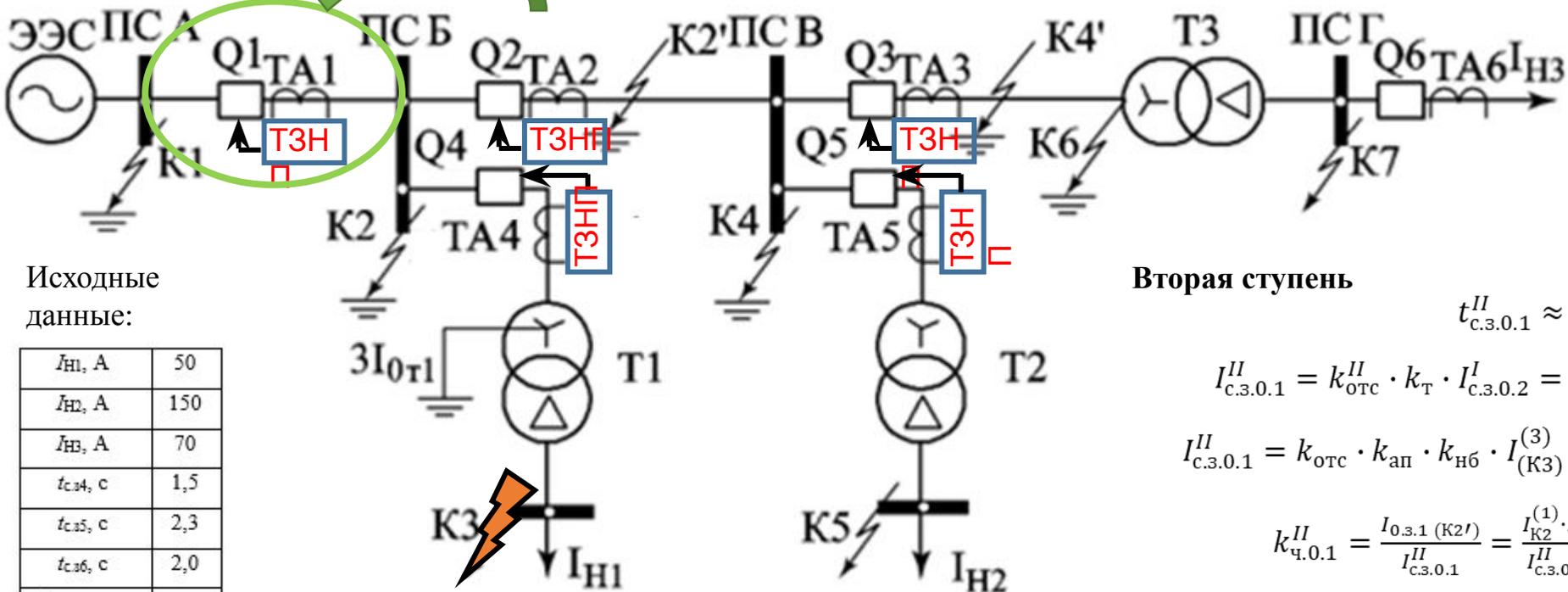
$$I_{с.3.0.2}^{III} = k_{отс} \cdot k_{ап} \cdot k_{Н6} \cdot I_{(K5)}^{(3)} = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,05 \cdot 1,0 = 0,0625 A$$

$$k_{ч.0.2}^{III} = \frac{I_{K4}^{(1)}}{I_{с.3.0.2}^{III}} = \frac{3,0}{0,096} = 31,25 > 1,3$$

$$k_{ч.0.2}^{III} = \frac{I_{K6}^{(1)}}{I_{с.3.0.2}^{III}} = \frac{2,3}{0,096} = 23,9 > 1,2$$

Защита	I - ступень		II - ступень		III - ступень	
1						
2	0	3,75	-	-	0,5	0,096
3	-	-	-	-	0	0,0875

Пример расчета (Защита 1)



Исходные данные:

$I_{Н1}, A$	50
$I_{Н2}, A$	150
$I_{Н3}, A$	70
$t_{с.з4}, c$	1,5
$t_{с.з5}, c$	2,3
$t_{с.з6}, c$	2,0
$I_{K2(K2')}, kA^{(1)}$	5,1
$I_{K4(K4')}, kA^{(1)}$	3,0
$I_{K6}, kA^{(1)}$	2,3
$3I_{OT(K1)}, kA$	0,1
$3I_{OT(K2')}, kA$	0,35
$I_{K3}, kA^{(3)}$	1,5
$I_{K5}, kA^{(3)}$	1,0
$I_{K7}, kA^{(3)}$	0,7
k_3	1,8

Необходимо учесть:

$3I_{0.н.р} = 0;$
 $k_{отс}^I = k_{отс} = 1,25; k_{отс}^{II} = k'_{отс} = 1,1;$
 $k_{ап} = 2$ при $t_{с.з.0} \leq 0,1 c$ и $k_{ап} = 1$ — при $t_{с.з.0} \geq 0,5 c;$
 $k_{нб} \approx 0,05, k_B = 0,9.$

Результаты расчета МТЗ:

	Защита №3	Защита №2	Защита №1
$I_{с.з.МТЗ}, kA$	0,168	0,528	0,648
$t_{с.з.МТЗ}, c$	2,5	3,0	3,5

Вторая ступень

$$t_{с.з.0.1}^{II} \approx 0,5 c$$

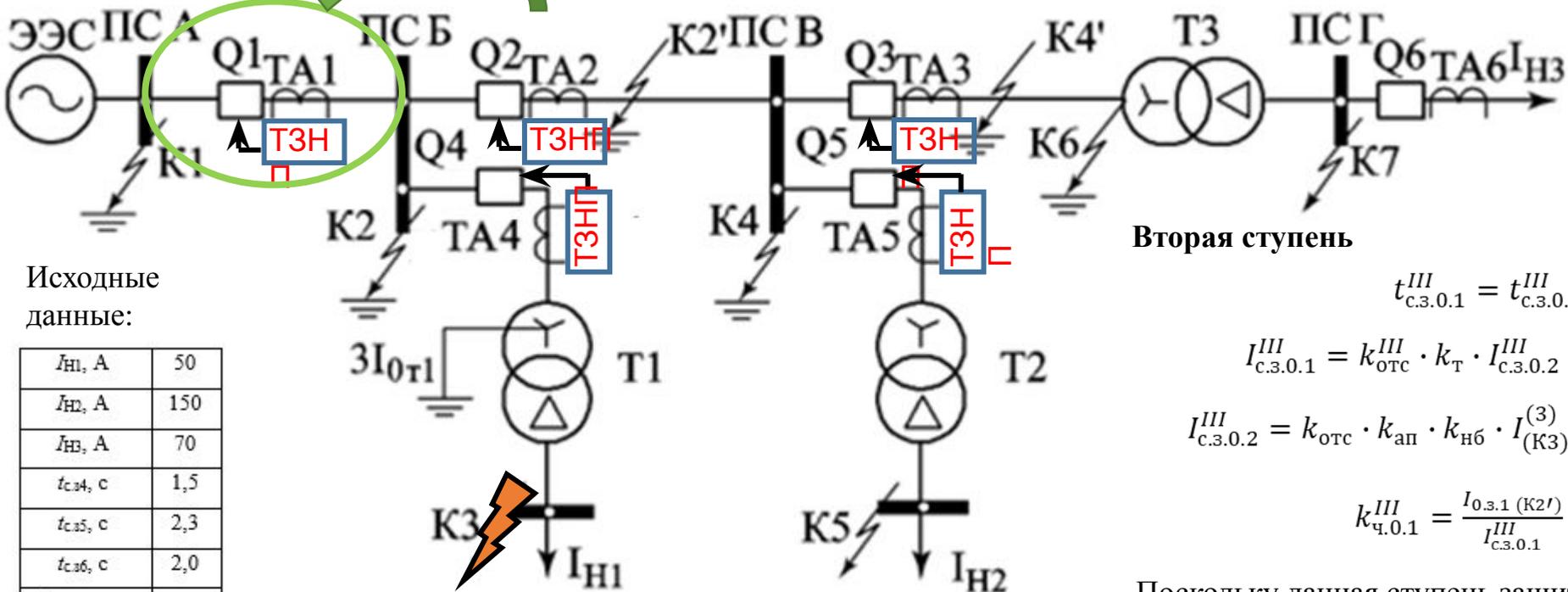
$$I_{с.з.0.1}^{II} = k_{отс}^{II} \cdot k_T \cdot I'_{с.з.0.2} = 1,1 \cdot 0,93 \cdot 3,75 = 3,84 \text{ кА} \quad \text{👍}$$

$$I_{с.з.0.1}^{II} = k_{отс} \cdot k_{ап} \cdot k_{нб} \cdot I_{(K3)}^{(3)} = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,05 \cdot 1,5 = 0,094 \text{ A}$$

$$k_{ч.0.1}^{II} = \frac{I_{0.з.1(K2')}}{I_{с.з.0.1}^{II}} = \frac{I_{K2}^{(1)} \cdot k_T}{I_{с.з.0.1}^{II}} = \frac{4,75}{3,84} = 1,24 < 1,3 \quad \text{❌}$$

Рассмотренная II ступень имеет недостаточную чувствительность, дополнительно устанавливается III ступень защиты (для выполнения функций второй) с отстройкой от второй ступени защиты смежного участка, как по току, так и по времени срабатывания.

Пример расчета (Защита 1)



Исходные данные:

$I_{Н1}, A$	50
$I_{Н2}, A$	150
$I_{Н3}, A$	70
$t_{с.з4}, c$	1,5
$t_{с.з5}, c$	2,3
$t_{с.з6}, c$	2,0
$I_{К2(К2')},^{(1)} kA$	5,1
$I_{К4(К4')},^{(1)} kA$	3,0
$I_{К6},^{(1)} kA$	2,3
$3I_{OT(K1)}, kA$	0,1
$3I_{OT(K2')}, kA$	0,35
$I_{К3},^{(3)} kA$	1,5
$I_{К5},^{(3)} kA$	1,0
$I_{К7},^{(3)} kA$	0,7
k_3	1,8

Необходимо учесть:

$3I_{0.н.р} = 0;$
 $k_{отс}^I = k_{отс} = 1,25; k_{отс}^{II} = k'_{отс} = 1,1;$
 $k_{ап} = 2$ при $t_{с.з.0} \leq 0,1 c$ и $k_{ап} = 1$ — при $t_{с.з.0} \geq 0,5 c;$
 $k_{нб} \approx 0,05, k_B = 0,9.$

Результаты расчета МТЗ:

	Защита №3	Защита №2	Защита №1
$I_{с.з.МТЗ}, kA$	0,168	0,528	0,648
$t_{с.з.МТЗ}, c$	2,5	3,0	3,5

Вторая ступень

$$t_{с.з.0.1}^{III} = t_{с.з.0.2}^{III} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1,0 c$$

$$I_{с.з.0.1}^{III} = k_{отс}^{III} \cdot k_T \cdot I_{с.з.0.2}^{III} = 1,1 \cdot 0,93 \cdot 0,096 = 0,098 kA$$

$$I_{с.з.0.2}^{III} = k_{отс} \cdot k_{ап} \cdot k_{нб} \cdot I_{(K3)}^{(3)} = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,05 \cdot 1,5 = 0,094 A$$

$$k_{ч.0.1}^{III} = \frac{I_{0.з.1}(K2')}{I_{с.з.0.1}^{III}} = \frac{I_{K2}^{(1)} \cdot k_T}{I_{с.з.0.1}^{III}} = \frac{4,75}{0,098} = 48,5 > 1,3$$

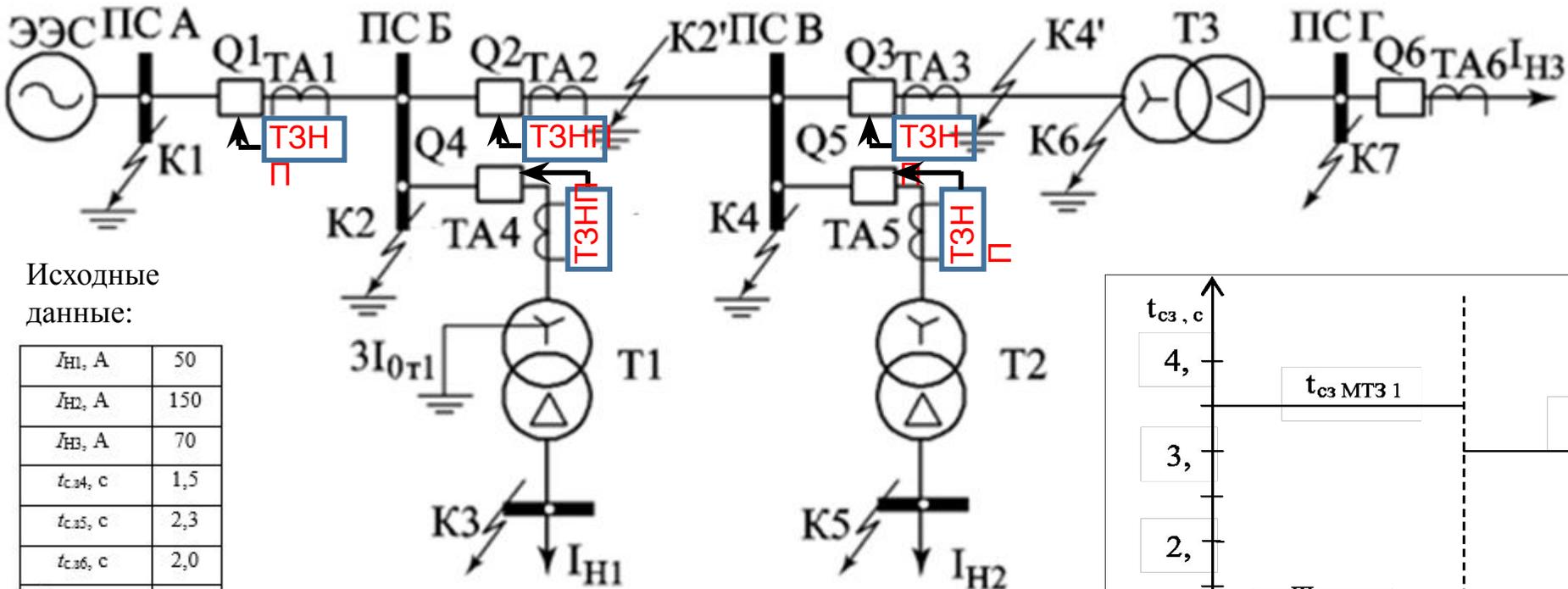
Поскольку данная ступень защиты согласована по току и времени срабатывания с чувствительной ступенью защиты смежного участка, целесообразно проверить возможность использования ее и для выполнения функции дальнего резервирования:

$$I_{с.з.0}^{III} \geq \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot (k_{ап} \cdot k_{нб} \cdot k_3 \cdot I_{раб.мах} + 3I_{0.н.р})$$

$$= \frac{1,25}{0,9} \cdot (1,0 \cdot 0,05 \cdot 1,8 \cdot 0,27 + 0) = 0,034 kA$$

$$k_{ч.0.1}^{III} = \frac{I_{К4}^{(1)} \cdot k_T}{I_{с.з.0.1}^{III}} = \frac{0,93 \cdot 3,0}{0,098} = 28,5 > 1,2$$

Пример расчета (Защита 1)



Исходные данные:

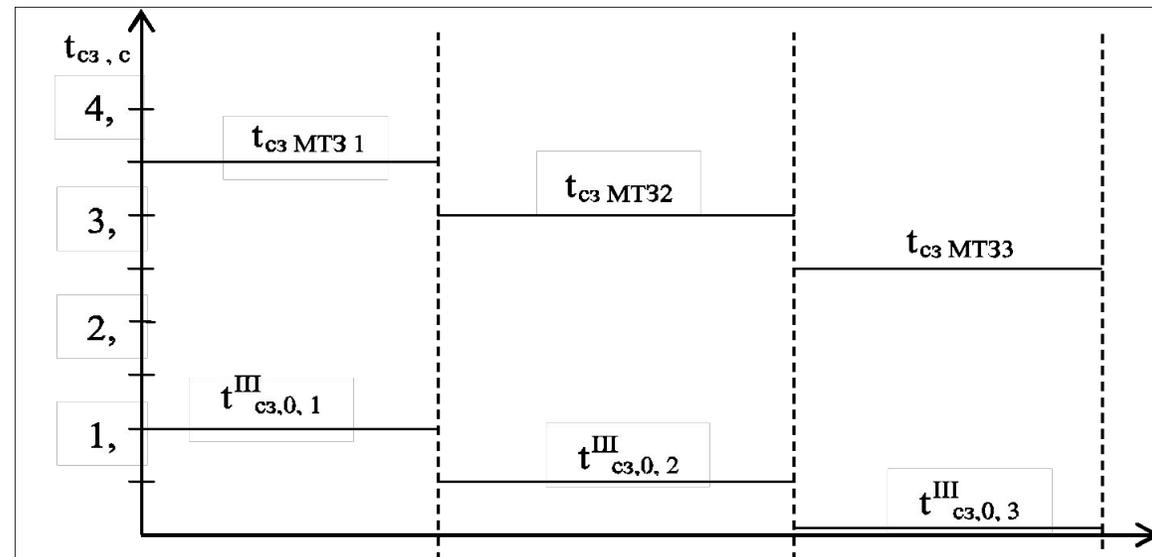
I_{H1}, A	50
I_{H2}, A	150
I_{H3}, A	70
t_{c34}, c	1,5
t_{c35}, c	2,3
t_{c36}, c	2,0
$I_{K2(K2')}, kA^{(1)}$	5,1
$I_{K4(K4')}, kA^{(1)}$	3,0
I_{K6}, kA	2,3
$3I_{OT(K1)}, kA$	0,1
$3I_{OT(K2')}, kA$	0,35
$I_{K3}, kA^{(3)}$	1,5
$I_{K5}, kA^{(3)}$	1,0
$I_{K7}, kA^{(3)}$	0,7
k_3	1,8

Необходимо учесть:

$3I_{0.н.р} = 0;$
 $k_{отс}^I = k_{отс} = 1,25; k_{отс}^{II} = k'_{отс} = 1,1;$
 $k_{ап} = 2$ при $t_{c3.0} \leq 0,1 c$ и $k_{ап} = 1$ — при $t_{c3.0} \geq 0,5 c;$
 $k_{H6} \approx 0,05, k_B = 0,9.$

Результаты расчета МТЗ:

	Защита №3	Защита №2	Защита №1
$I_{c3.МТЗ}, kA$	0,168	0,528	0,648
$t_{c3.МТЗ}, c$	2,5	3,0	3,5



Защита	I - ступень		II - ступень		III - ступень	
1	0	5,7	0,5	3,84	1,0	0,98
2	0	3,75	-	-	0,5	0,096
3	-	-	-	-	0	0,0875

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!