

Особенности выбора электрооборудования напряжением до 1000 В

Особенности расчета в сетях до 1 кВ.

Расчет токов КЗ.

Электротепловой процесс.

Трансформаторы 6(10)/0,4 кВ.

Выбор автоматических выключателей.

Выбор плавких предохранителей.

Выбор кабелей.

Координация «Защитный аппарат – кабель».

Координация «Защитный аппарат – электродвигатель».

Координация «Защитный аппарат – защитный аппарат».

Дальнее резервирование.

Перспективы и тенденции решения проблемы дальнего резервирования.

Нормативно-техническая документация.

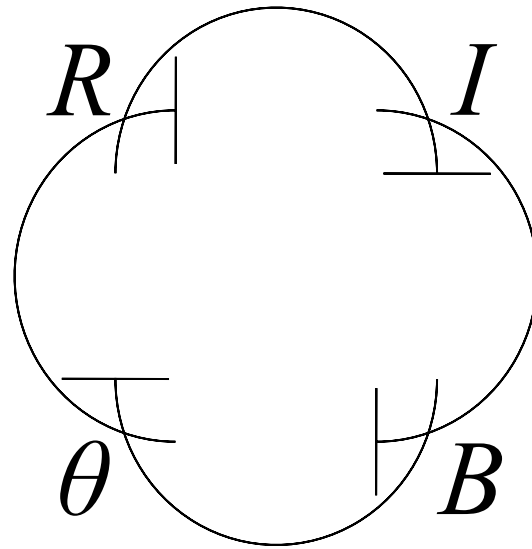
Особенности расчета в сетях до 1 кВ

- Наличие активного сопротивления, сопоставимого с индуктивным
(медный кабель $s = 1,5 \text{ мм}^2$; $r_{\text{уд}} = 12 \text{ мОм/м}$; $x_{\text{уд}} = 0,1 \text{ мОм/м}$).
- Расчет в комплексной форме и в именованных единицах.
- Тепловой спад тока ($\Delta\theta = 250^\circ\text{C}$; $R \uparrow 2$).
- Вид КЗ. Переход КЗ из одного вида в другой.
- Зависимость totкл от тока КЗ.
- Неадиабатический нагрев кабеля.
- Сопротивление защитных аппаратов
($I_{\text{ном}} = 10 \text{ А} \rightarrow R = 20 \text{ мОм}$; $S = 25 \text{ мм}^2 \rightarrow l = 25 \text{ м по меди}$).
- Сопротивление контактов.
- Нелинейное сопротивление электрической дуги.
- Дуга между контактами автоматических выключателей и контакторов.
- Отпадание магнитных пускателей и размыкание контакторов.
- Шунтирующий эффект двигателей.

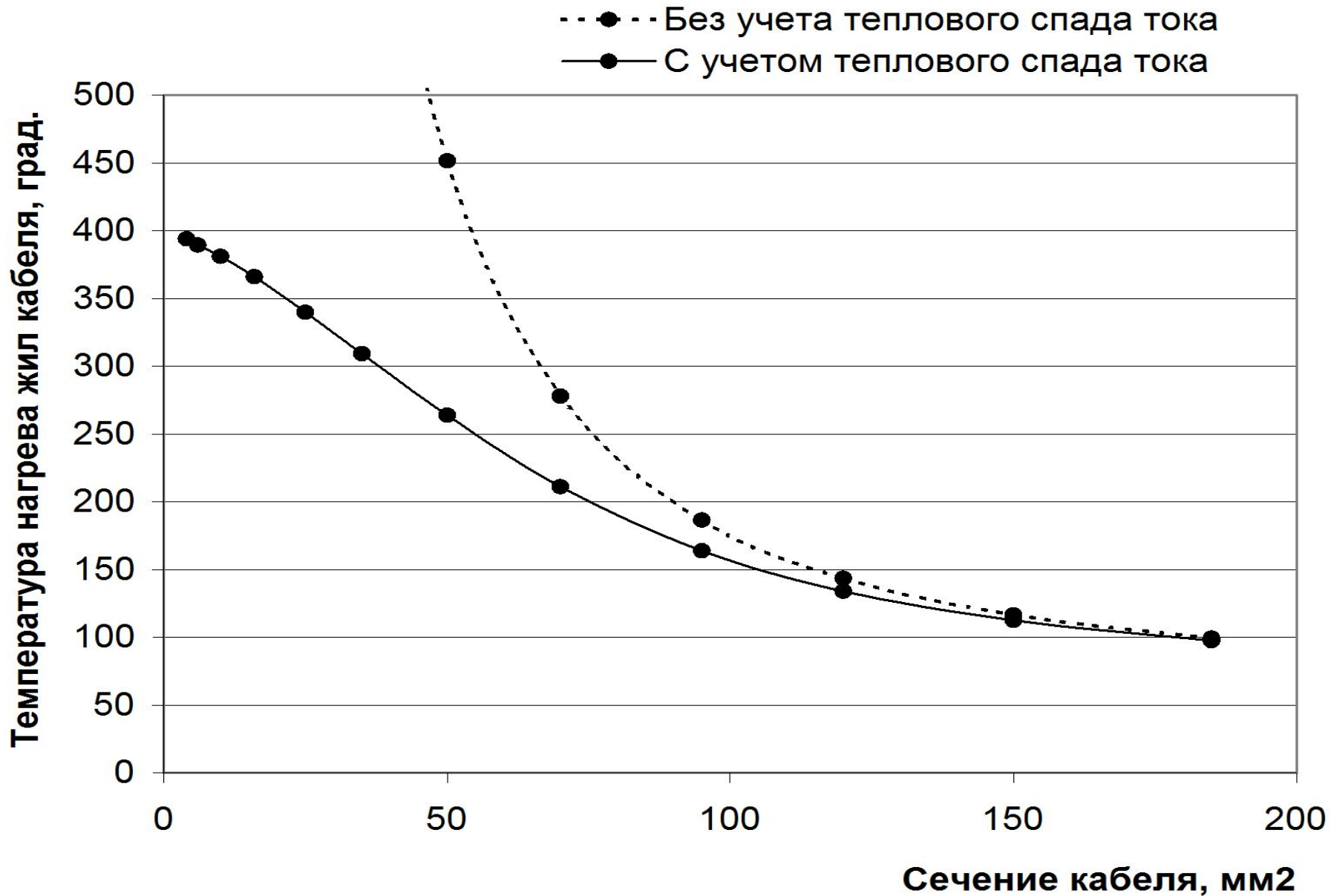
Тепловой спад тока КЗ

Активное сопротивление кабеля:

$$R(\theta) = R_0(1 + \alpha(\theta - \theta_0))$$



Температуры нагрева жил кабелей



Расчет электротеплового процесса

- Электротепловой процесс** – это совокупность следующих влияющих друг на друга процессов:
- возникновение тока КЗ под действием электродвижущей силы внешней сети;
 - нагрев токоведущих жил кабеля током КЗ;
 - увеличение активной составляющей сопротивления кабельной линии при его нагреве;
 - снижение тока КЗ под влиянием эффекта теплового спада тока;
 - отвод тепла от жил кабеля в изоляцию и в окружающую среду

- Аналитический метод ?
- Численный метод (ЭВМ) !

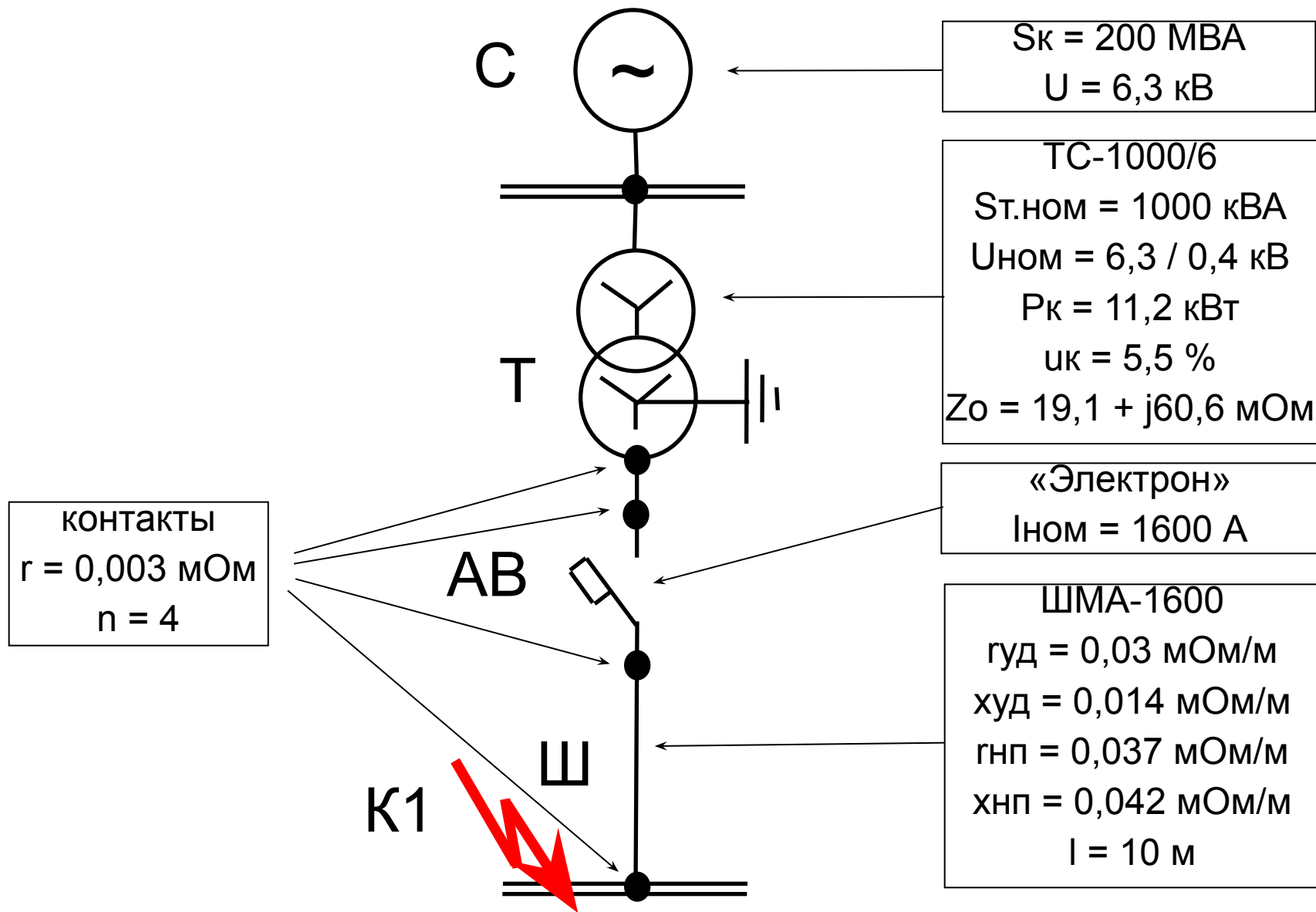
Расчет токов КЗ

- Назначение расчета токов КЗ
- Расчет токов 3-фазного КЗ
- Расчет токов 1-фазного КЗ
- Выбор расчетных условий (точка, вид, токкл, учет двигателей)
- Пример расчета токов КЗ

Пример расчет токов КЗ
по ГОСТ 28249-93
«Короткие замыкания в
электроустановках.

Методы расчета в электроустановках
переменного тока напряжением до 1 кВ»

Рассчитать токи КЗ в точке К1: металлические и дуговые 1-, 2-, 3-фазные КЗ



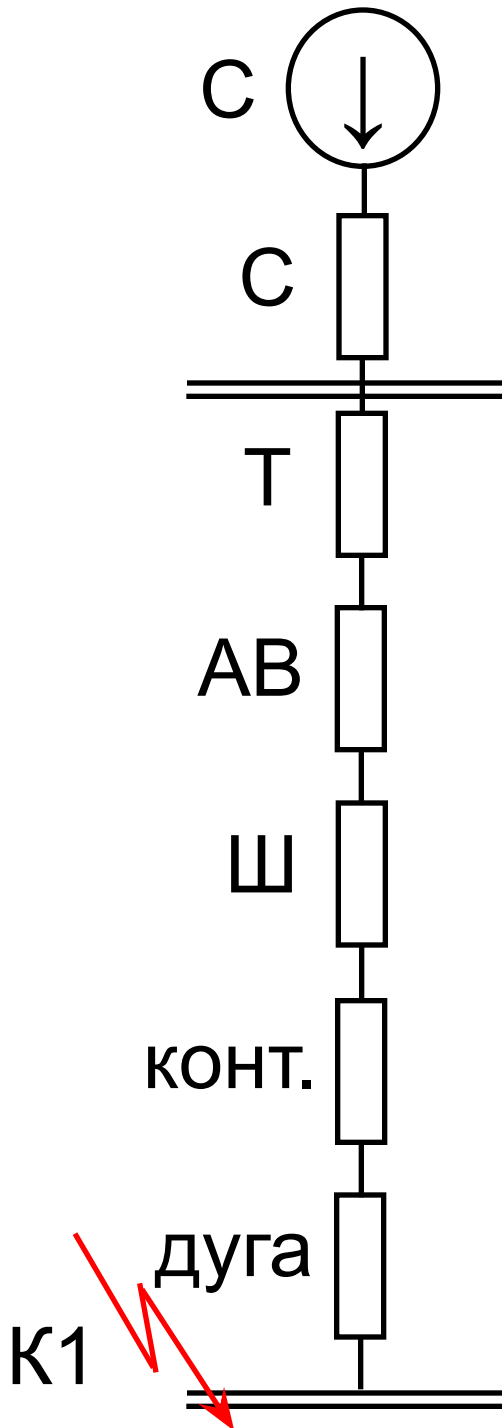


Схема замещения
прямой
последовательности

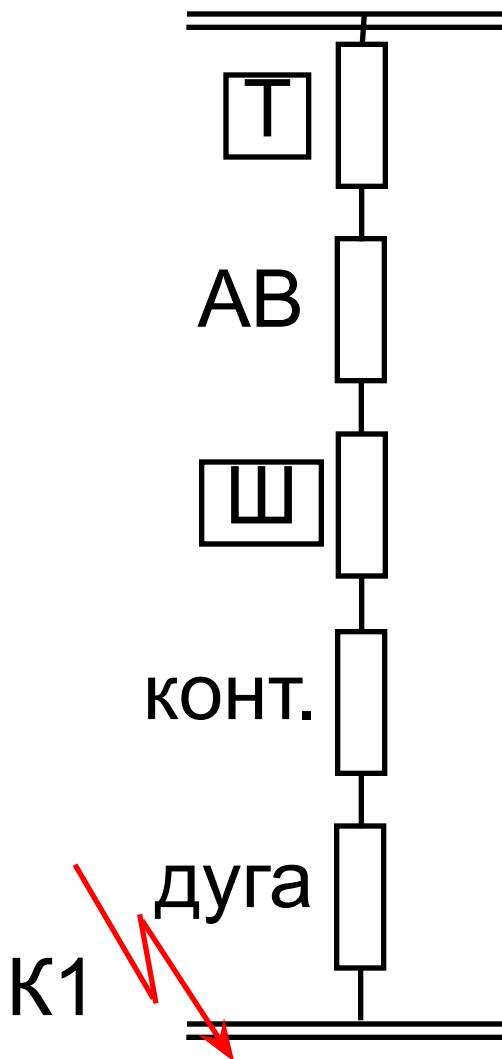


Схема замещения
нулевой
последовательности

Расчет параметров схемы замещения **прямой** последовательности

- Система
- Трансформатор
- Автоматический выключатель
- Шинопровод
- Контакты
- Электрическая дуга

Система 6,3 кВ

Дано:

- $U_{\text{сист}} = 6,3 \text{ кВ}$
– **номинальное напряжение системы**
- $S_{\text{к}} = 200 \text{ МВА}$
– **мощность КЗ на шинах 6,3 кВ**
- $I_{\text{к}} = S_{\text{к}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{сист}}) = 200 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 19,3 \text{ кА}$
– **ток КЗ на шинах 6,3 кВ**
- $X_{\text{с}} = U_{\text{сист}} / (\sqrt{3} \cdot I_{\text{к}}) = 6,3 / (\sqrt{3} \cdot 19,3) = 0,189 \text{ Ом}$
– **сопротивление на шинах 6,3 кВ**

Расчёт:

- $E_{\text{с}} = 400 \text{ В}$ – **все параметры приводим к $U_{\text{б}} = 0,4 \text{ кВ}$**
- $X_{\text{с}} = U^2 / S_{\text{к}} \cdot 10^{-3} = 400^2 / 200 \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ МОм}$
- $R_{\text{с}} = 0$

Трансформатор ТС-1000/6

Дано:

- схема $Y / Y_n - 0$
- $U_{ном} = 6,3 / 0,4$ кВ – **номинальные напряжения**
- $S_{т.ном} = 1000$ кВА – **номинальная мощность**
- $P_K = 11,2$ кВт – **мощность потерь КЗ**
- $u_K = 5,5$ % – **напряжение КЗ**

Расчёт:

- $R_T = P_K \cdot U^2 / S^2 \cdot 10^6 = 11,2 \cdot 0,4^2 / 1000^2 \cdot 10^6 =$
 $= 1,79$ МОм
- $X_T = \sqrt{u_K^2 - (100 \cdot P_K / S^2) \cdot U^2 / S} \cdot 10^4 =$
 $= \sqrt{5,5^2 - (100 \cdot 11,2 / 1000^2) \cdot 0,4^2 / 1000} \cdot 10^4 =$
 $= 8,62$ МОм

Автоматический выключатель

Дано:

- тип «Электрон»
- $I_{ном} = 1600 \text{ А}$ – **номинальный ток**

Расчёт:

- $I_{ном} \geq S_{т.ном} / (\sqrt{3} \cdot U_{нн}) = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 0,4) = 1443 \text{ А}$
- $I_{ном} = 1600 \text{ А}$
- $R_{ав} = 0,14 \text{ мОм}$ – см. табл. 21
- $X_{ав} = 0,08 \text{ мОм}$ – см. табл. 21
- В табл. 21 указаны сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей (А 3700, «Электрон», ВА), для которых эти сопротивления зависят от $I_{ном}$.

Таблица 21

Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	$r_{\text{к}}$	$r_{\text{к}}$
50	7	4,5
70	3,5	2
100	2,15	1,2
140	1,3	0,7
200	1,1	0,5
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,1
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,1	0,05

Шинопровод

Дано:

- марка ШМА-1600
- $r_{уд} = 0,03 \text{ мОм/м}$ – **удельное активное сопротивление**
- $x_{уд} = 0,014 \text{ мОм/м}$ – **удельное индуктивное сопротивление**
- см. табл. 3 для ШМА4-1650
- $l = 10 \text{ м}$ – **длина шинпровода**

Расчёт:

- $R_{ш} = r_{уд} \cdot l = 0,03 \cdot 10 = 0,3 \text{ мОм}$
- $X_{ш} = x_{уд} \cdot l = 0,014 \cdot 10 = 0,14 \text{ мОм}$

Таблица 3

Параметры комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			R_1	X_1	$R_{\text{нп}}$	$X_{\text{нп}}$
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1650	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,061	0,035
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020	0,020	0,070	0,045
ШМА68П	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,070	0,045
ШРА73	0,38	250	0,210	0,210	0,120	0,210
ШРА73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38	630	0,1	0,13	0,162	0,164

Болтовые контакты

Дано:

- $R_{\text{конт}} = 0,003 \text{ мОм}$ – **сопротивление одного контакта**
- $n = 4$ – **количество контактов**

Расчёт:

- $R_{\text{конт}} = 0,003 \cdot 4 = 0,012 \text{ мОм}$
- $X_{\text{конт}} = 0$
- $R_{\text{конт}}$ можно учесть более детально – см. п. 2.6, табл. 17-19.

Сопротивления контактных соединений кабелей

Сечение алюминиевого кабеля, мм ²	16	25	35	50	70	95	120	150	240
Сопротивление, мОм	0,085	0,061	0,056	0,043	0,029	0,027	0,024	0,021	0,012

Таблица 18

Сопротивления контактных соединений шинпроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Серия шинпроводов	ШРА-73	ШРА-73	ШРА-73	ШМА-73	ШМА-68Н	ШМА-68Н
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

Таблица 19

Приближенные значения сопротивлений разъемных контактов коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток аппарата, А	Активное сопротивление, мОм, разъемных соединений		
	автоматического выключателя	рубильника	разъединителя
50	1,30	-	-
70	1,00	-	-
100	0,75	0,50	-
150	0,65	-	-
200	0,60	0,40	-
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	-	-	-

Электрическая дуга

Дано:

- $S_{т.ном} = 1000$ кВА – **номинальная мощность трансформатора**
- $l = 10$ м – **длина шинопровода**

Расчёт:

- $R_d = 5,6$ мОм – см. рис. 22
- $X_d = 0$
- R_d можно учесть более детально – см. п. 2.12, приложение 9:
- $R_d = 16 \cdot \sqrt{l_d} / I_{под}^{0,85}$
- l_d – длина дуги в зависимости от междугазного расстояния
- $I_{под дуги}$ – ток КЗ, определяемый с учетом сопротивления

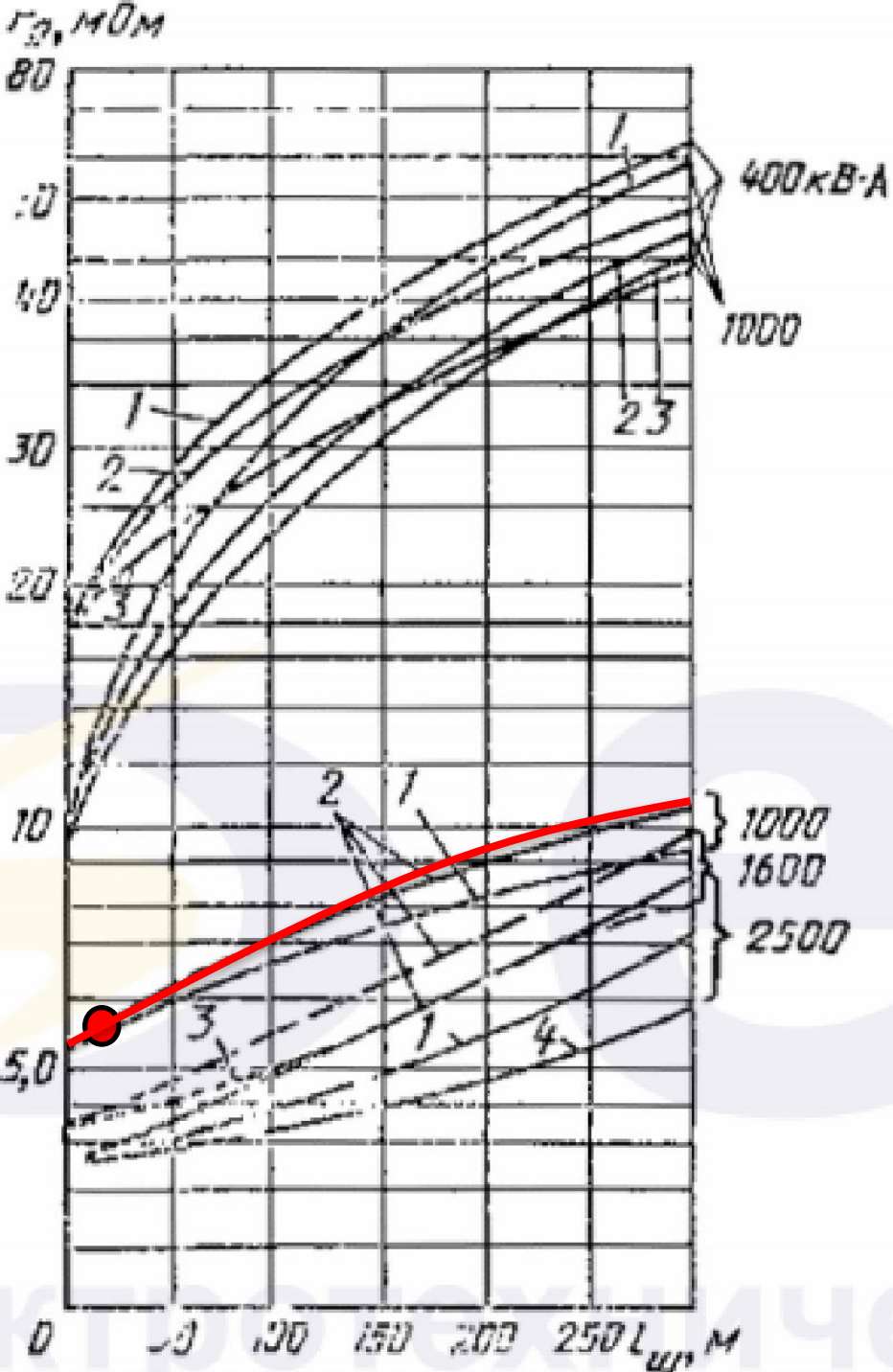


Рис.22
 Зависимость $i_d(I_{ш})$ при
 3-фазном к.з. за
 трансформаторами
 мощностью 400, 1000,
 1600, 2500 кВА

- 1 - ШМА-68-1000
- 2 - ШМА-73-1600
- 3 - ШМА-68-2500
- 4 - ШМА-68-4000

Расчет параметров схемы замещения **нулевой** последовательности

- Система – не входит
- **Трансформатор – изменяется**
- Автоматический выключатель – то же
- **Шинопровод – изменяется**
- Контакты – то же
- Электрическая дуга – то же

Трансформатор ТС-1000/6

Дано:

- $Z_0 = 19,1 + j60,6$ мОм – **сопротивление нулевой последовательности – см. Беляев А.В. «Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ», табл. 1.**

Расчёт:

- Сопротивление нулевой последовательности зависит от схемы соединения обмоток
- Для схемы Y / Y_n
- $Z_0 \gg Z_1$ (в 10...100 раз).
- В паспортных данных Z_0 не приводится.
- По каталогам Z_0 брать нецелесообразно.
- По запросу завод обязан дать Z_0 – см. ГОСТ 3484.1-88
- $Z_0 = 19,1 + j60,6$ мОм
- В примере Z_0 больше, чем Z_1 , в 7,2 раза.

Таблица 1. Активные и индуктивные сопротивления, мОм, трансформаторов 6(10)/0,4 кВ [12]

Мощность трансформатора, кВ·А	u_K , %	$x_{1T}=x_{2T}$	x_{0T}	$r_{1T}=r_{2T}$	r_{0T}	$z_T^{(1)}/3$
-------------------------------	-----------	-----------------	----------	-----------------	----------	---------------

Соединение обмоток Y/Y

100	4,5	64,7	581,8	31,5	253,9	260
160	4,5	41,7	367	16,6	150,8	162
250	4,5	27,2	234,9	9,4	96,5	104
400	4,5	17,1	148,7	5,5	55,6	65
630	5,5	13,6	96,2	3,1	30,3	43
1000	5,5	8,5	60,6	2,0	19,1	27
1000	8	12,6	72,8	2,0	19,1	33,6
1600	5,5	4,9	37,8	1,3	11,9	16,6

Соединение обмоток Δ/Y

100	4,5	66	66	36,3	36,3	75,3
160	4,5	43	43	19,3	19,3	47
250	4,5	27	27	10,7	10,7	30
400	4,5	17	17	5,9	5,9	18,7
630	5,5	13,5	13,5	3,4	3,4	14
1000	5,5	8,6	8,6	2,0	2,0	9
1000	8	12,65	12,65	1,9	1,9	12,8
1600	5,5	5,4	5,4	1,1	1,1	5,7

Шинопровод

Дано:

- марка ШМА-1600
- $r_{нп} = 0,037$ мОм/м – **удельное активное сопротивление нулевого проводника**
- $x_{нп} = 0,042$ мОм/м – **удельное индуктивное сопротивление нулевого проводника**
- см. табл. 3 для ШМА4-1650
- $R_{ш} = 0,3$ мОм – **активное сопротивление шинпровода**
- $X_{ш} = 0,14$ мОм – **индуктивное сопротивление шинпровода**
- см. расчет сопротивлений прямой последовательности
- $l = 10$ м – **длина шинпровода**

Расчёт:

- $R_{нп} = r_{нп} \cdot l = 0,037 \cdot 10 = 0,37$ мОм
- $X_{нп} = x_{нп} \cdot l = 0,042 \cdot 10 = 0,42$ мОм
- $R_{шо} = R_{ш} + 3 \cdot R_{нп} = 0,3 + 3 \cdot 0,37 = 1,41$ мОм
- $X_{шо} = X_{ш} + 3 \cdot X_{нп} = 0,14 + 3 \cdot 0,42 = 1,4$ мОм

Строго говоря, $X_{шо}$ должно укладываться в диапазон:

- $X_{шо} = (0,75...9,4) \cdot X_{ш} = (0,75...9,4) \cdot 0,14 = 0,105...1,32$ мОм
(см. приложение 1, п.4)

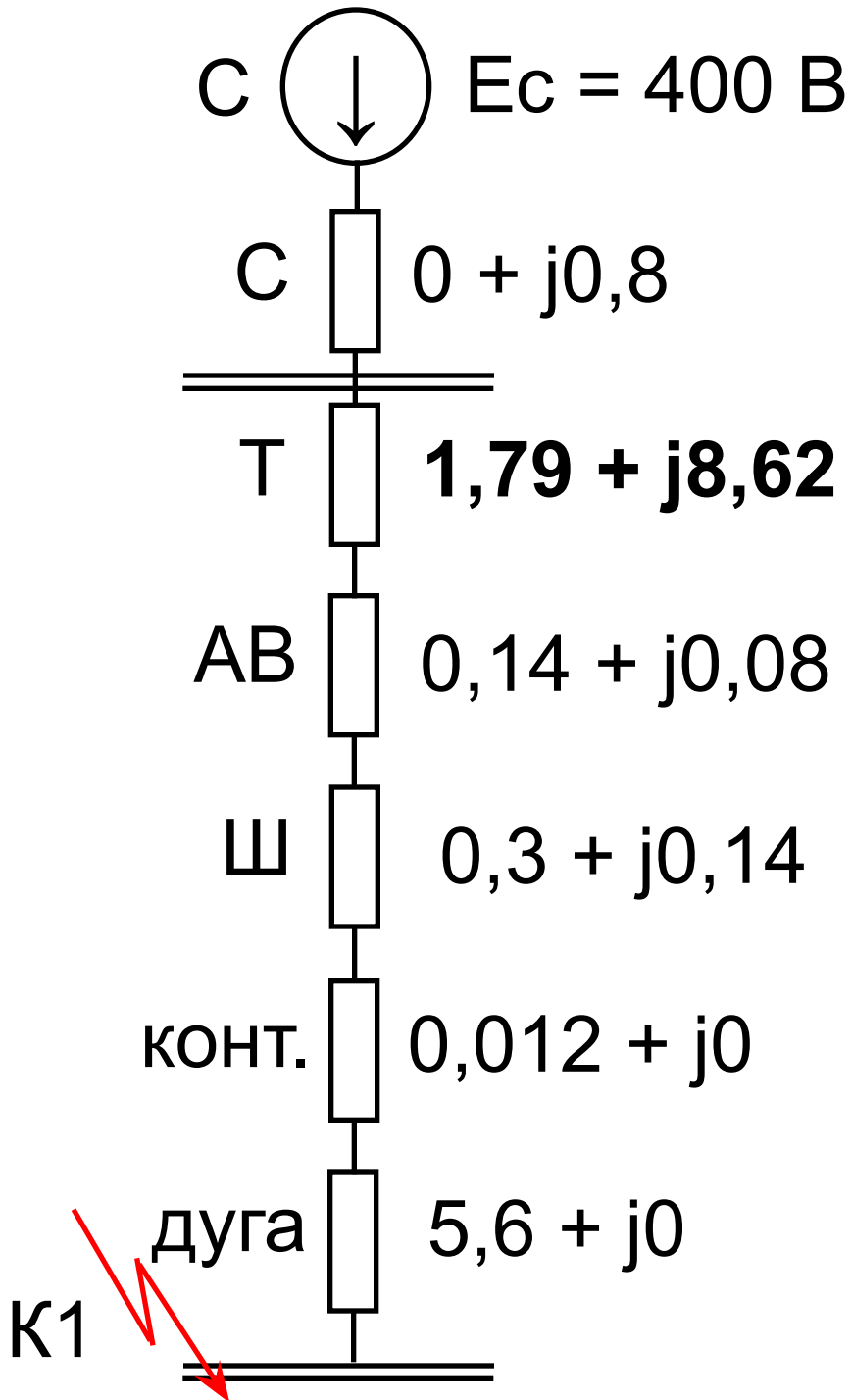


Схема замещения
прямой
последовательности

(сопротивления
указаны в мОм)

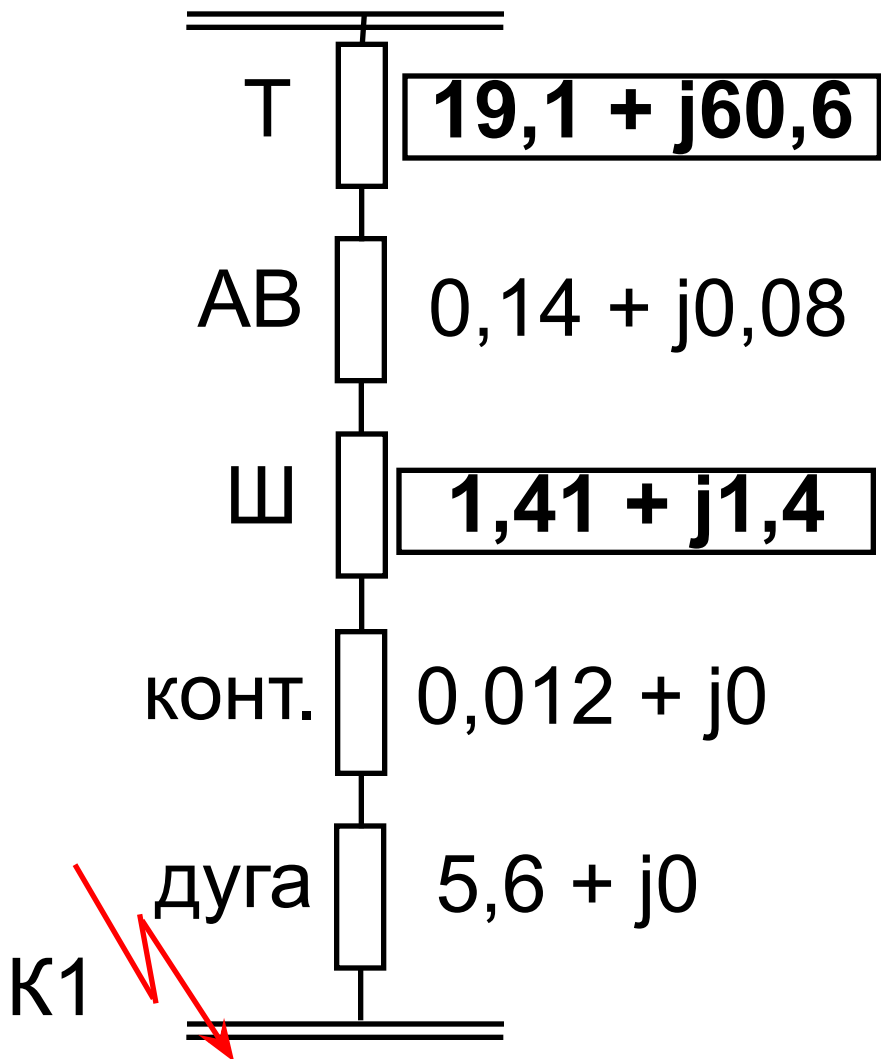
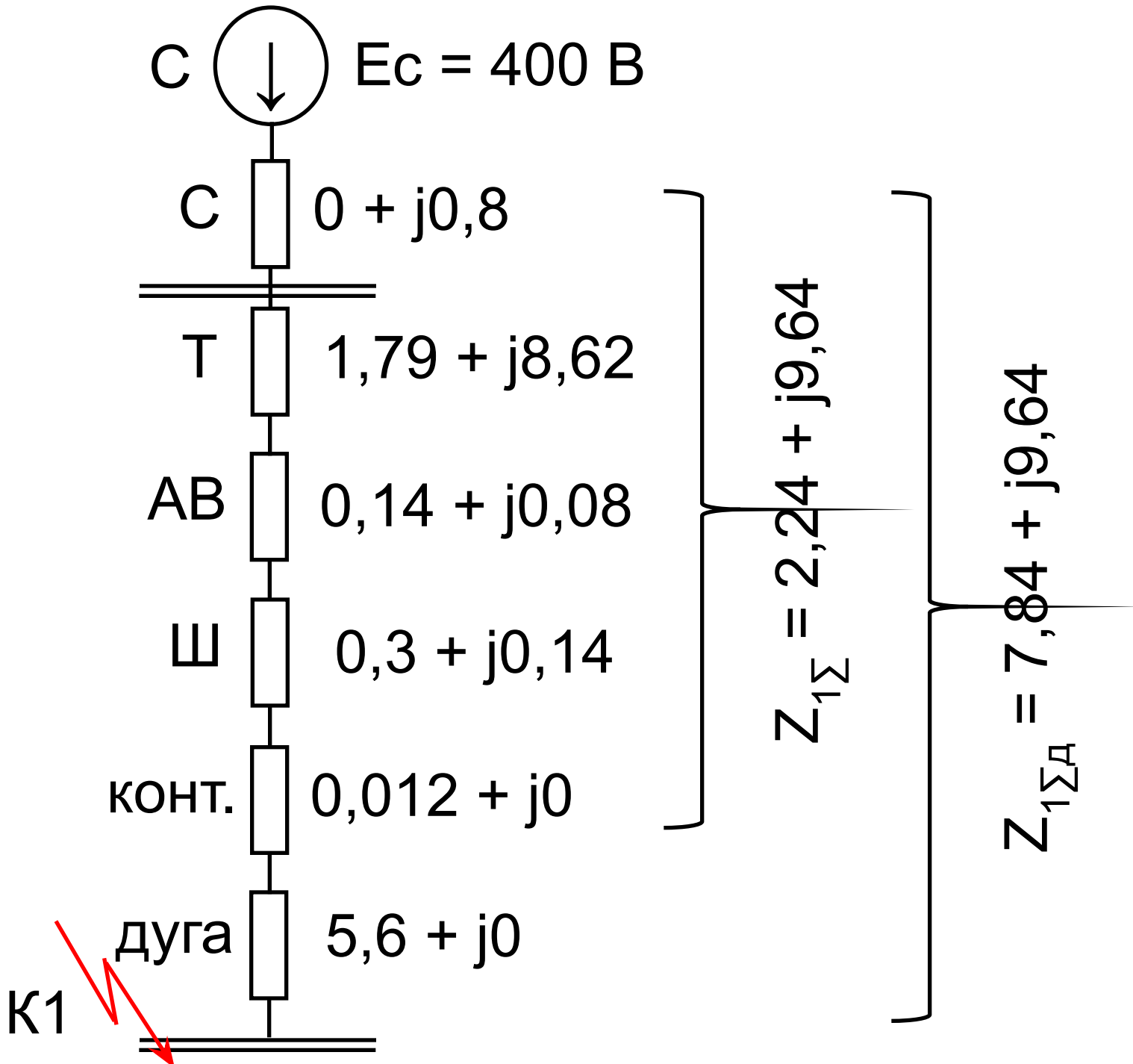


Схема замещения
нулевой
последовательности

(сопротивления
указаны в мОм)

Расчёт токов **3-фазного** КЗ
(используется только схема
прямой последовательности)



Расчёт токов **3-фазного** КЗ

- $Z_{1\Sigma} = \sqrt{2,24^2 + 9,64^2} = 9,9 \text{ мОм}$ – без дуги
- $Z_{1\Sigma_{д}} = \sqrt{7,84^2 + 9,64^2} = 12,43 \text{ мОм}$ – с дугой
- $I^{(3)} = E_c / (\sqrt{3} \cdot Z_{1\Sigma(д)})$
- $I_{\max}^{(3)} = 400 / (\sqrt{3} \cdot 9,9) = \underline{\underline{23,33 \text{ кА}}}$ – без дуги
- $I_{\min}^{(3)} = 400 / (\sqrt{3} \cdot 12,43) = \underline{\underline{18,59 \text{ кА}}}$ – с дугой

Расчёт токов **2-фазного** КЗ
(используется только схема
прямой последовательности)

Расчёт токов **2-фазного** КЗ

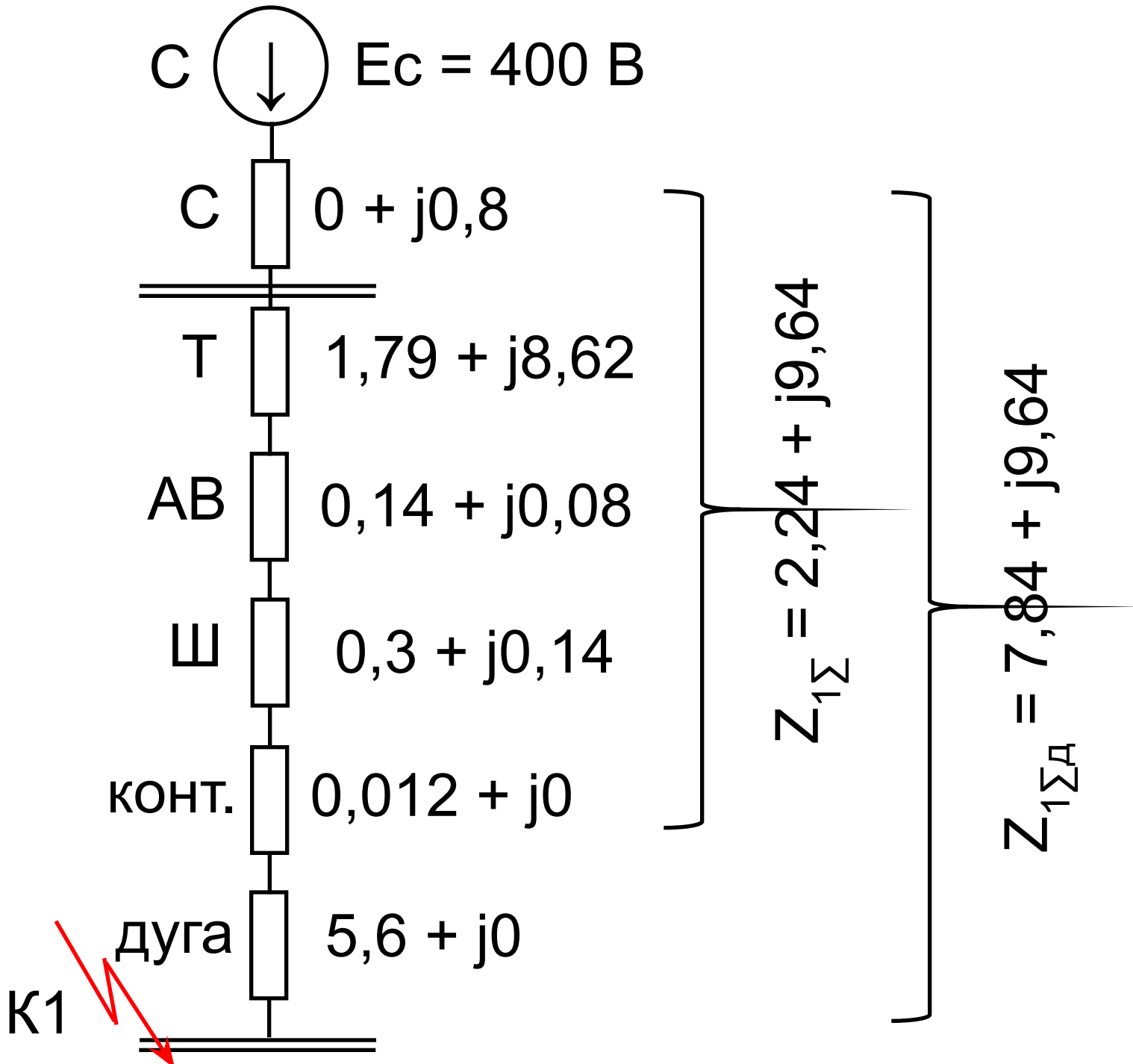
изменяется сопротивление $R_{1\Sigma_d}$:

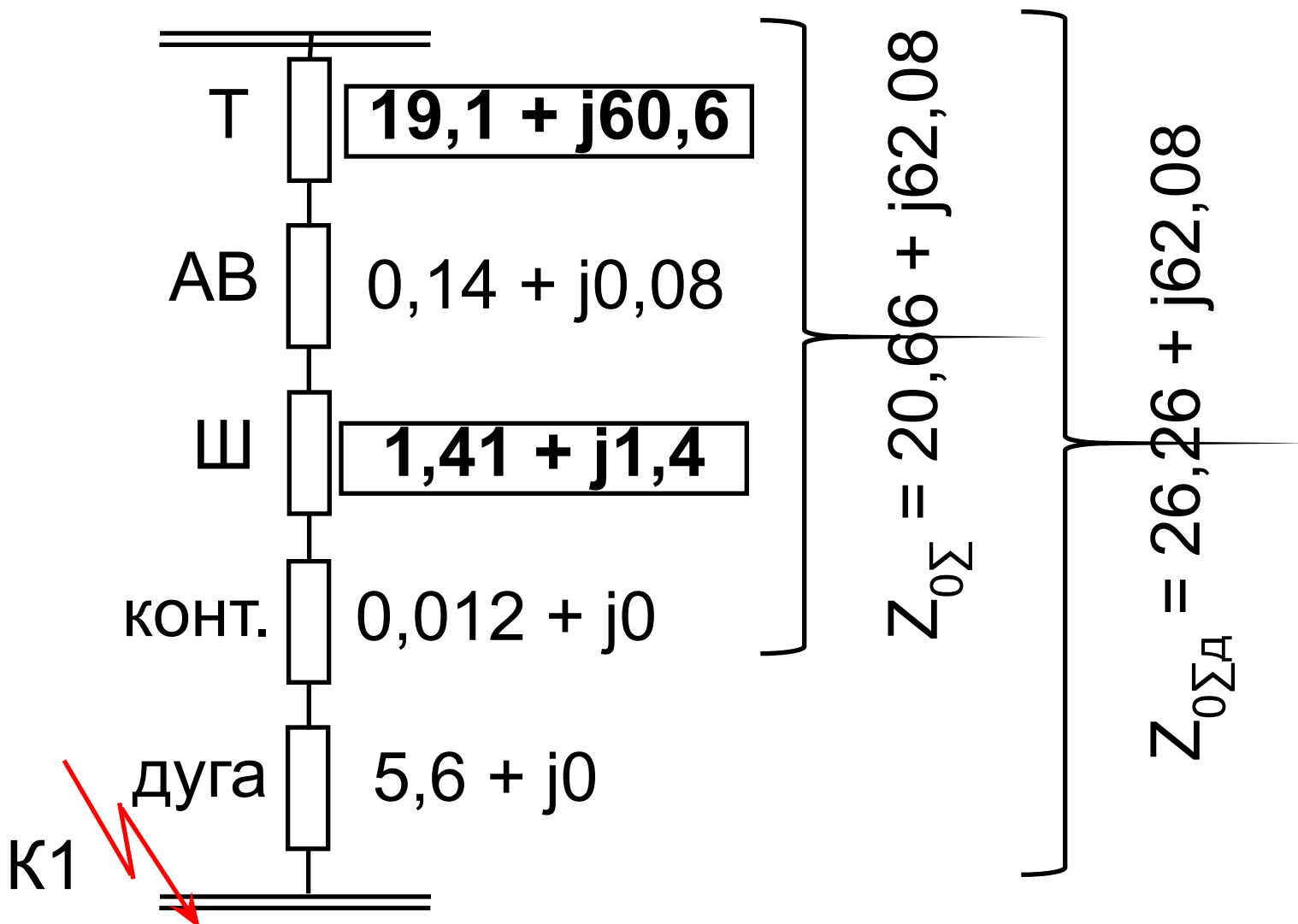
- $R_{1\Sigma_d} = R_{1\Sigma} + R_d / 2 = 2,24 + 5,6 / 2 = 5,04 \text{ мОм}$
- $Z_{1\Sigma_d} = \sqrt{5,04^2 + 9,64^2} = 10,88 \text{ мОм}$
- $Z_{1\Sigma} = 9,9 \text{ мОм}$ – остаётся прежним

- $I^{(2)} = E_c / (2 \cdot Z_{1\Sigma(d)})$

- $I_{\max}^{(2)} = 400 / (2 \cdot 9,9) = \underline{\underline{20,2 \text{ кА}}}$ – без дуги
- $I_{\min}^{(2)} = 400 / (2 \cdot 10,88) = \underline{\underline{18,39 \text{ кА}}}$ – с дугой

Расчёт токов **1-фазного** КЗ
(используются схемы
прямой и нулевой
последовательности)





Расчёт токов **1-фазного** КЗ

- $R_{0\Sigma} = 20,66 \text{ мОм}; \quad X_{0\Sigma} = 62,08 \text{ мОм};$
- $R_{0\Sigma\Delta} = 26,26 \text{ мОм}; \quad X_{0\Sigma\Delta} = 62,08 \text{ мОм}$
- $Z_{0\Sigma} = \sqrt{(2 \cdot R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}$
- $Z_{0\Sigma} = \sqrt{(2 \cdot 2,24 + 20,66)^2 + (2 \cdot 9,64 + 62,08)^2} =$
 $= 85,16 \text{ мОм} - \text{ без дуги}$
- $Z_{0\Sigma\Delta} = \sqrt{(2 \cdot 7,84 + 26,26)^2 + (2 \cdot 9,64 + 62,08)^2} =$
 $= 91,53 \text{ мОм} - \text{ с дугой}$
- $I^{(1)} = \sqrt{3} \cdot E_c / Z_{0\Sigma(\Delta)}$
- $I_{\max}^{(1)} = \sqrt{3} \cdot 400 / 85,16 = \underline{\underline{8,14 \text{ кА}}} - \text{ без дуги}$
- $I_{\min}^{(1)} = \sqrt{3} \cdot 400 / 91,53 = \underline{\underline{7,57 \text{ кА}}} - \text{ с дугой}$

Результаты расчёта токов КЗ

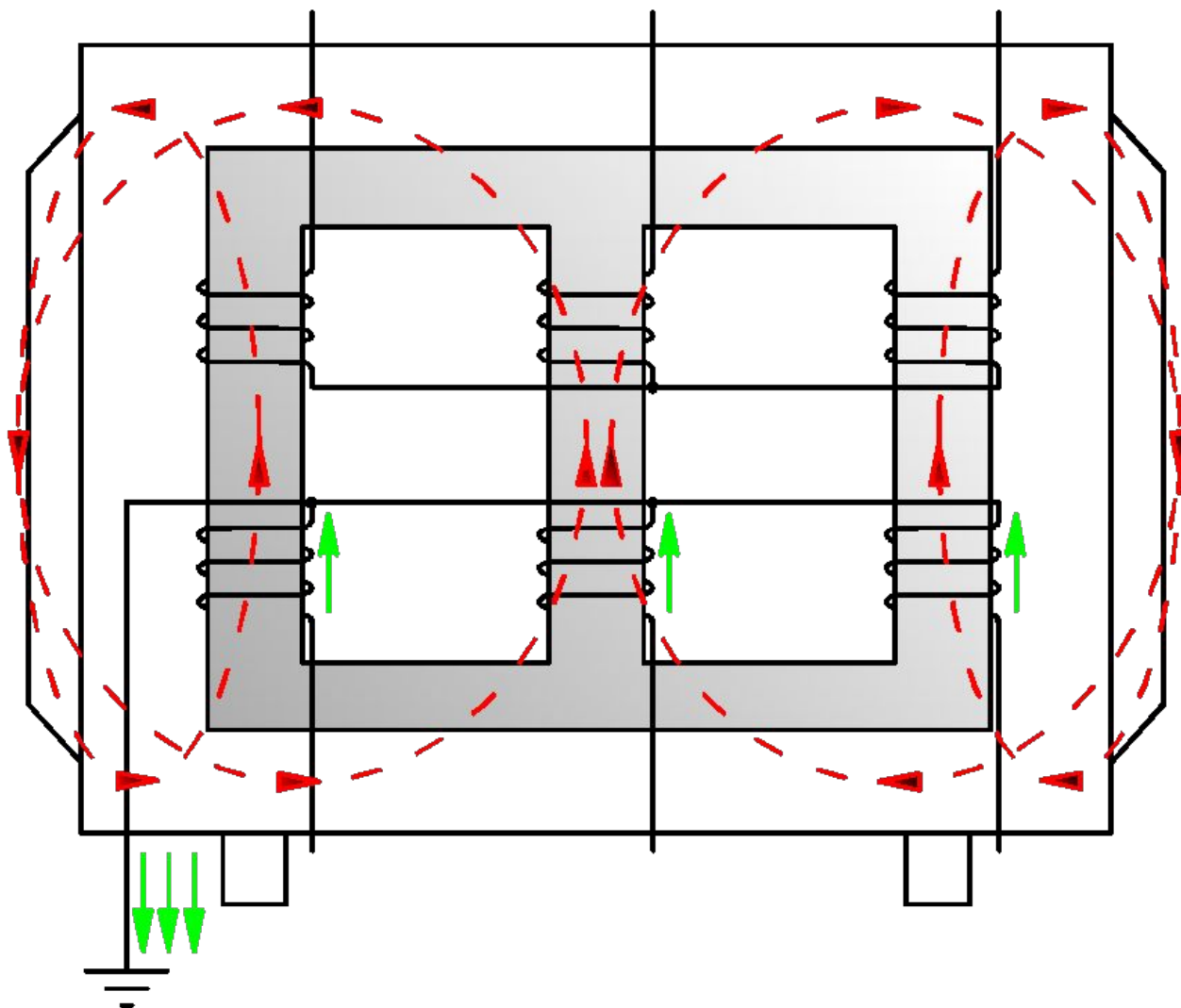
Вид КЗ	I_{\max} , кА	I_{\min} , кА
3-фазное	23,33	18,59
2-фазное	20,2	18,39
1-фазное	8,14	7,57

Трансформаторы 10(6)/0,4 кВ

Схемы соединения обмоток:

- Д/У_Н
- У/У_Н
- У/З_Н

Y/Y_H



Д/У_Н

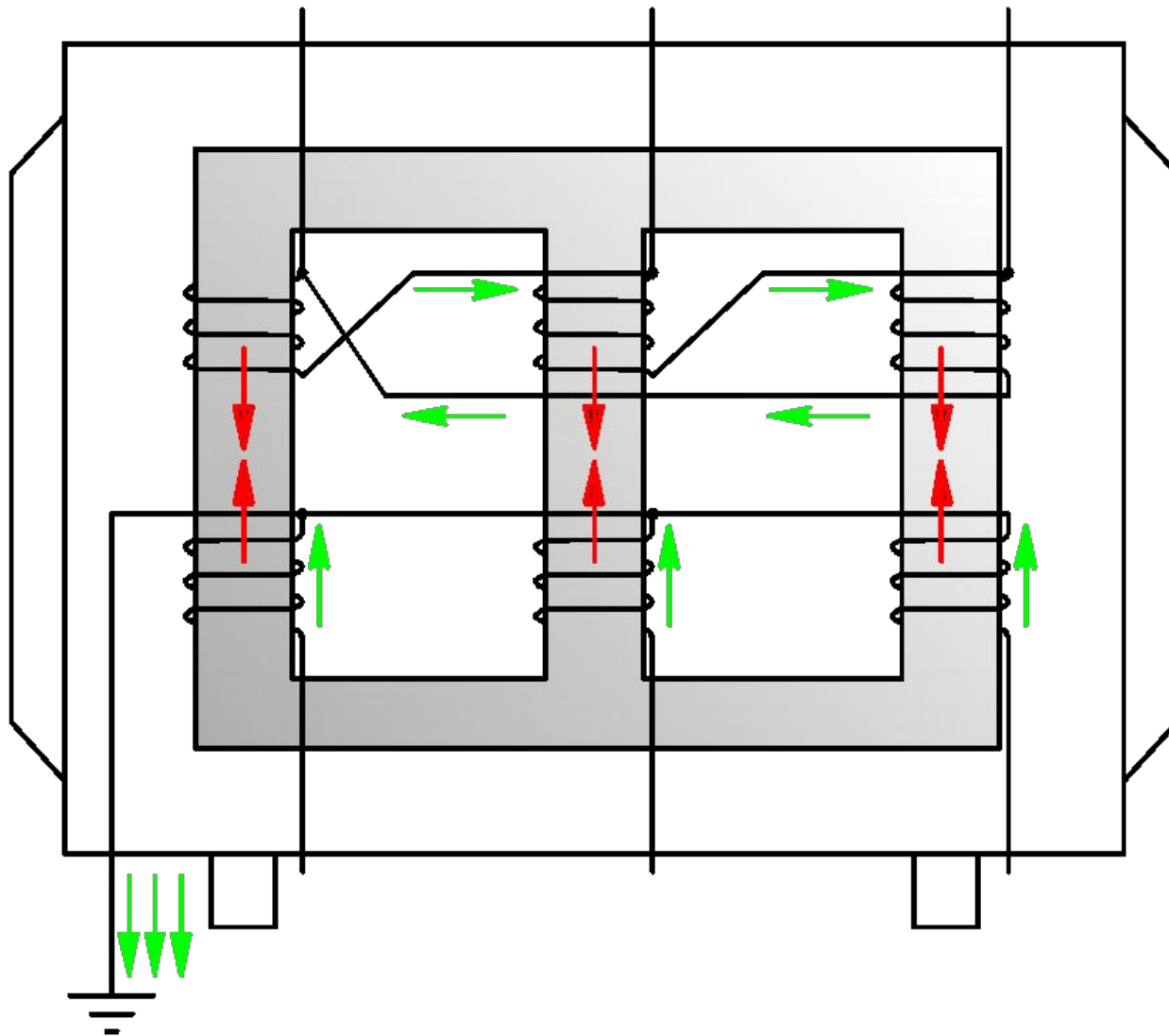
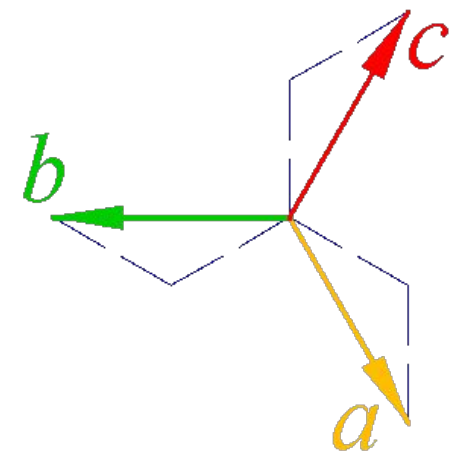
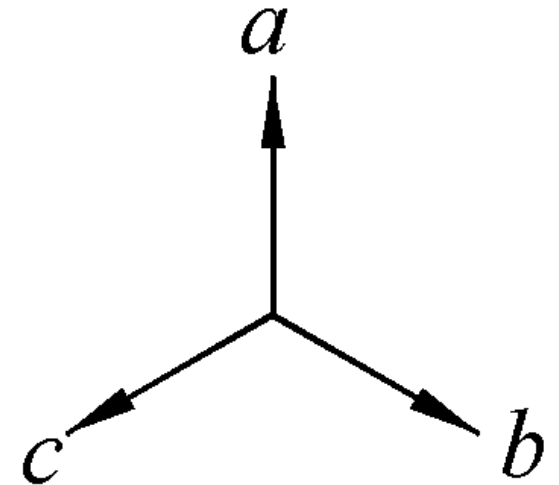
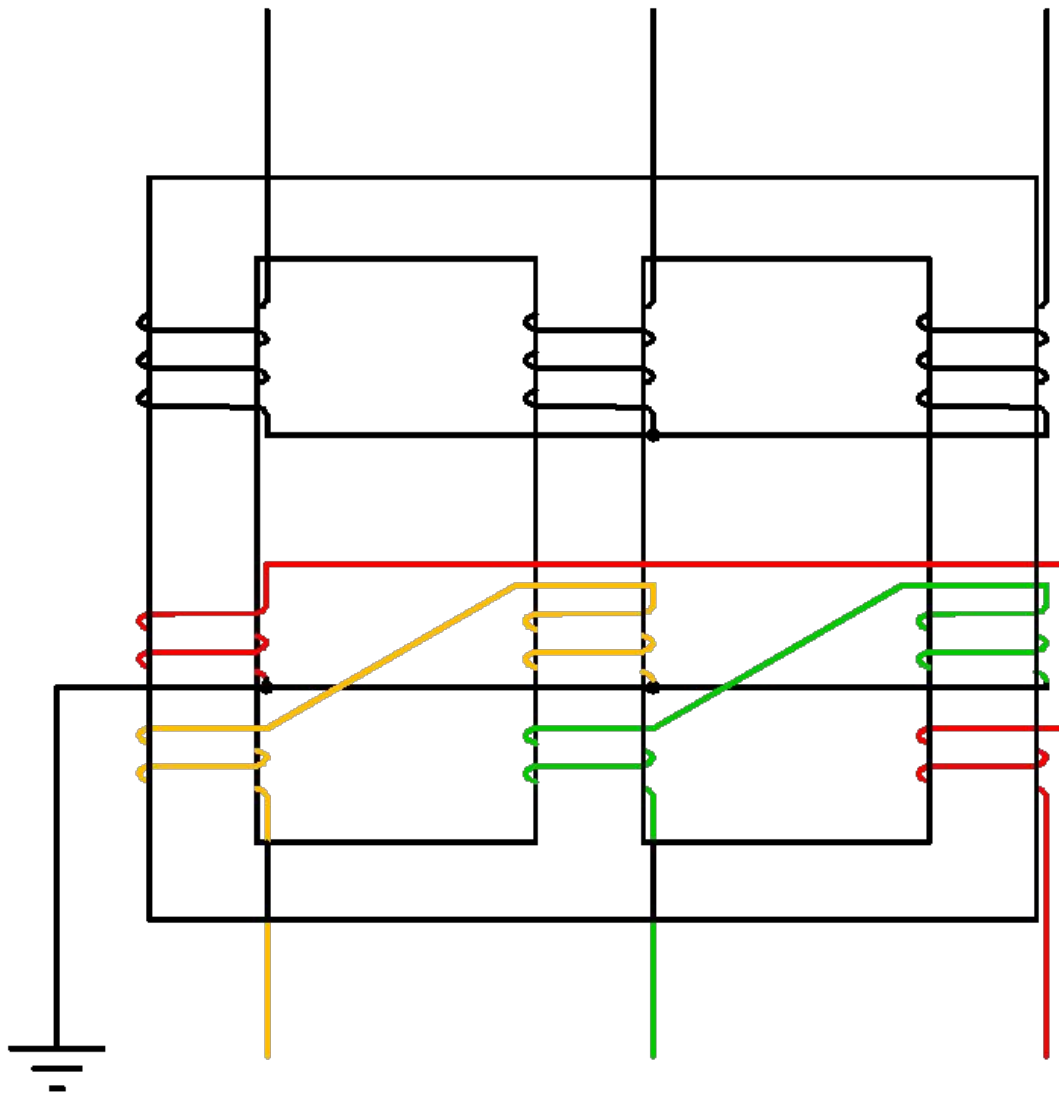


Схема соединения «зигзаг»

Y/Z_H



Y/Z_H

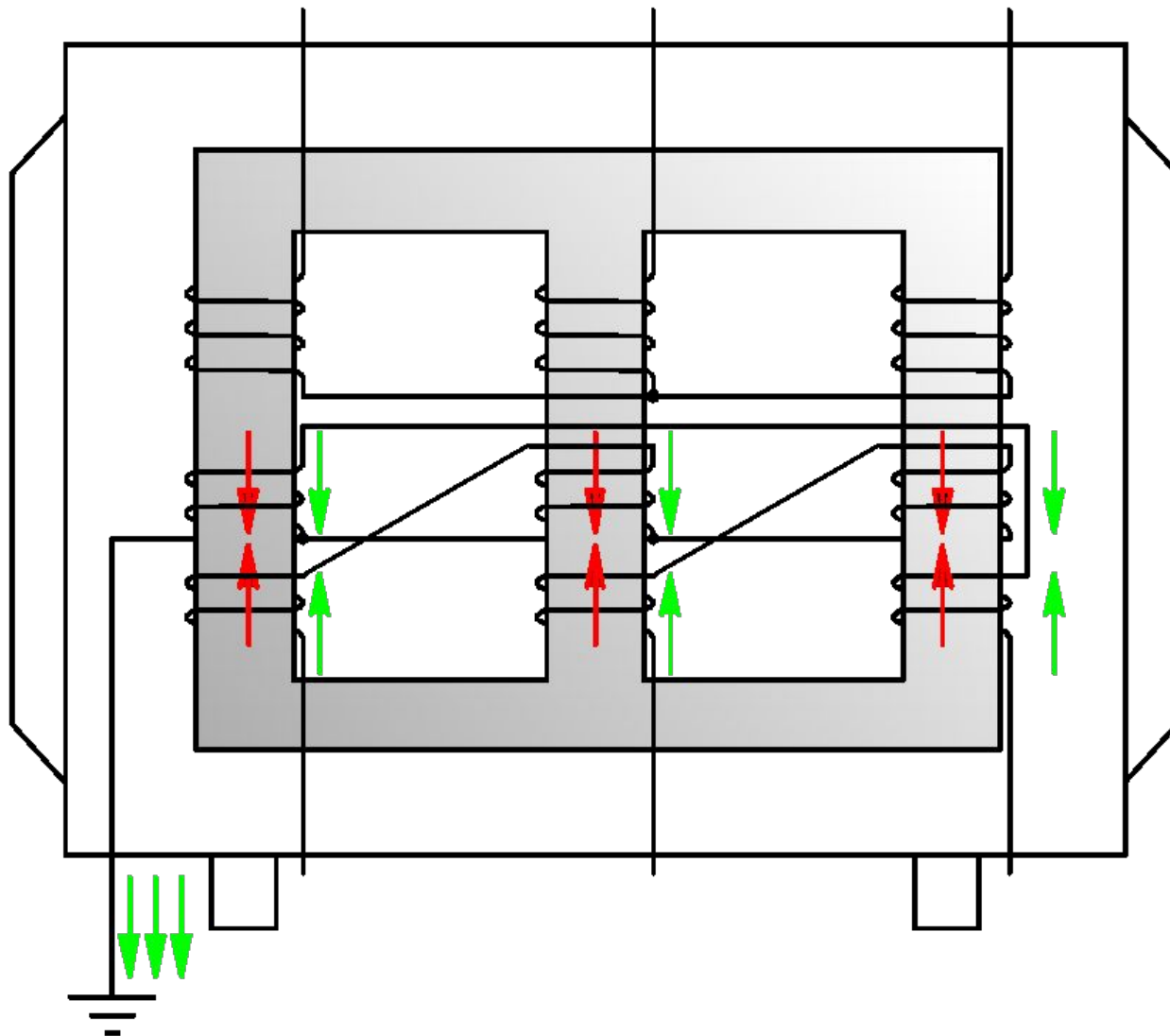
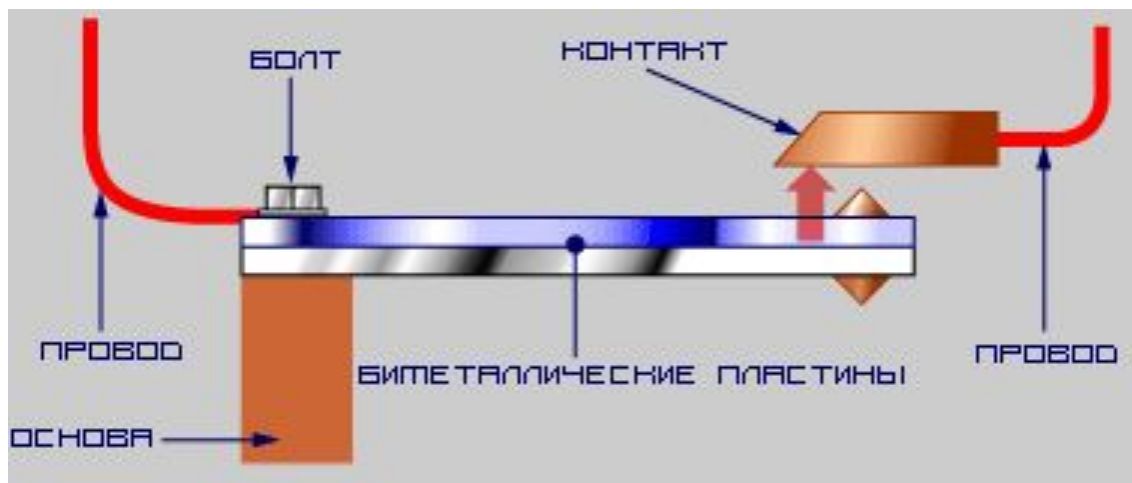


Схема соединения	Y/Yн	$\Delta/Yн$	Y/Zн
Z_0/Z_1	$\approx 10-100$	≈ 1	< 1
$I_k^{(1)}$ по сравнению с $I_k^{(3)}$	$I_k^{(1)} < I_k^{(3)}$	$I_k^{(1)} \approx I_k^{(3)}$	$I_k^{(1)} > I_k^{(3)}$
Возможность применения компенсации емкостных токов	да	нет	да
Преимущества	Возможность применения компенсации емкостных токов. Хорошее токоограничение, обеспечение стойкости коммутационной аппаратуры.	Простота расчета токов 1-фазного КЗ. Определенность в сопротивлениях нулевой последовательности. Простота обеспечения чувствительности защитных аппаратов.	Нечувствительность к несимметрии. Возможность применения компенсации емкостных токов. Простота обеспечения чувствительности защитных аппаратов.
Недостатки	Смещение нейтрали и искажение напряжений при несимметричной нагрузке. Сложность обеспечения чувствительности защитных аппаратов.	Большие токи 1-фазного КЗ. Невозможность применения компенсации емкостных токов.	Большие токи 1-фазного КЗ. Усложнение РЗ. Дороговизна (+ 20 %).
Области применения	Трансформаторы 400 кВА и выше при необходимости ограничения тока однофазного КЗ.	Трансформаторы 25-1000 кВА при отсутствии необходимости их применения для компенсации емкостных токов	Трансформаторы 25-250 кВА при необходимости их применения для компенсации емкостных токов

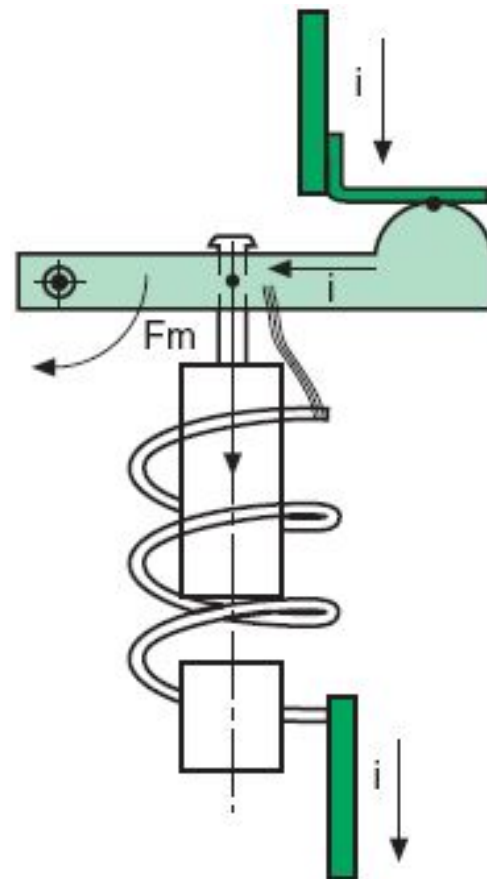
Автоматические выключатели

Расцепители автоматов

Тепловой



Электро-
магнитный



Электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлением срабатывания

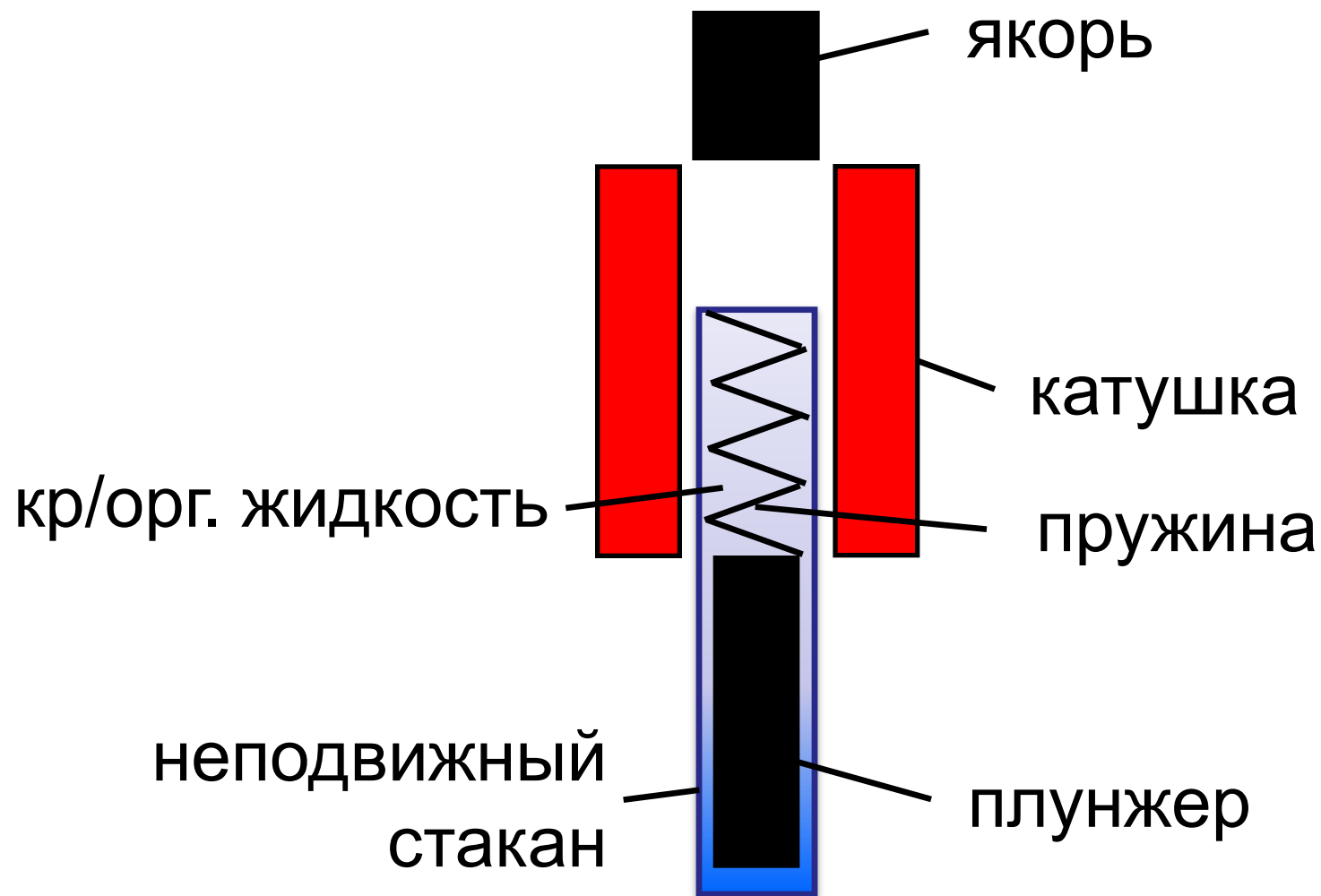
Принцип действия:

- при больших токах КЗ – быстрое втягивание якоря;
- при небольших токах перегрузки кремнийорганическая жидкость замедляет втягивание якоря.

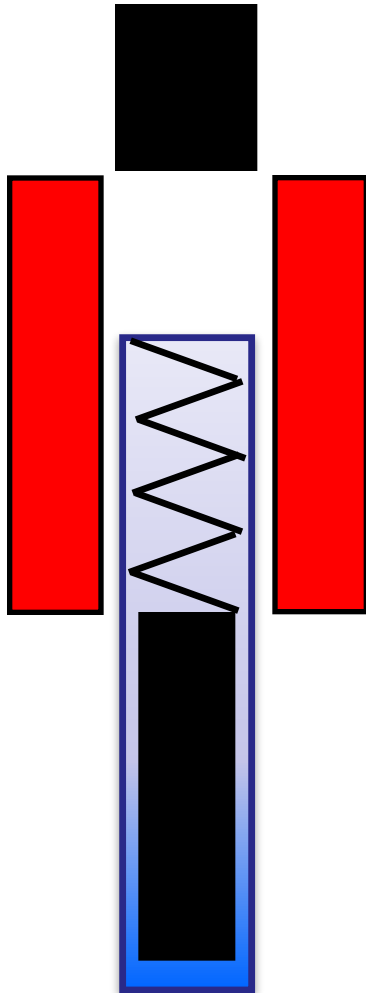
Отличия от электромагнитного расцепителя:

- сочетает в себе функции двух классических расцепителей: электромагнитного и теплового.
- ток срабатывания не зависит от температуры окружающего воздуха.

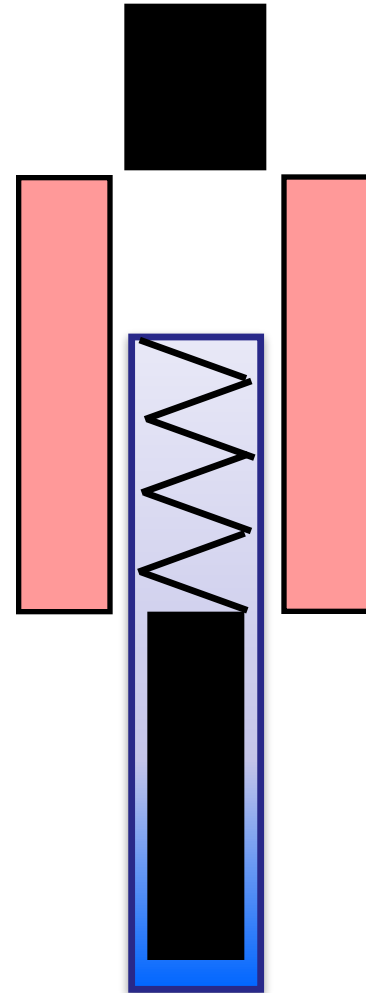
Электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлением срабатывания



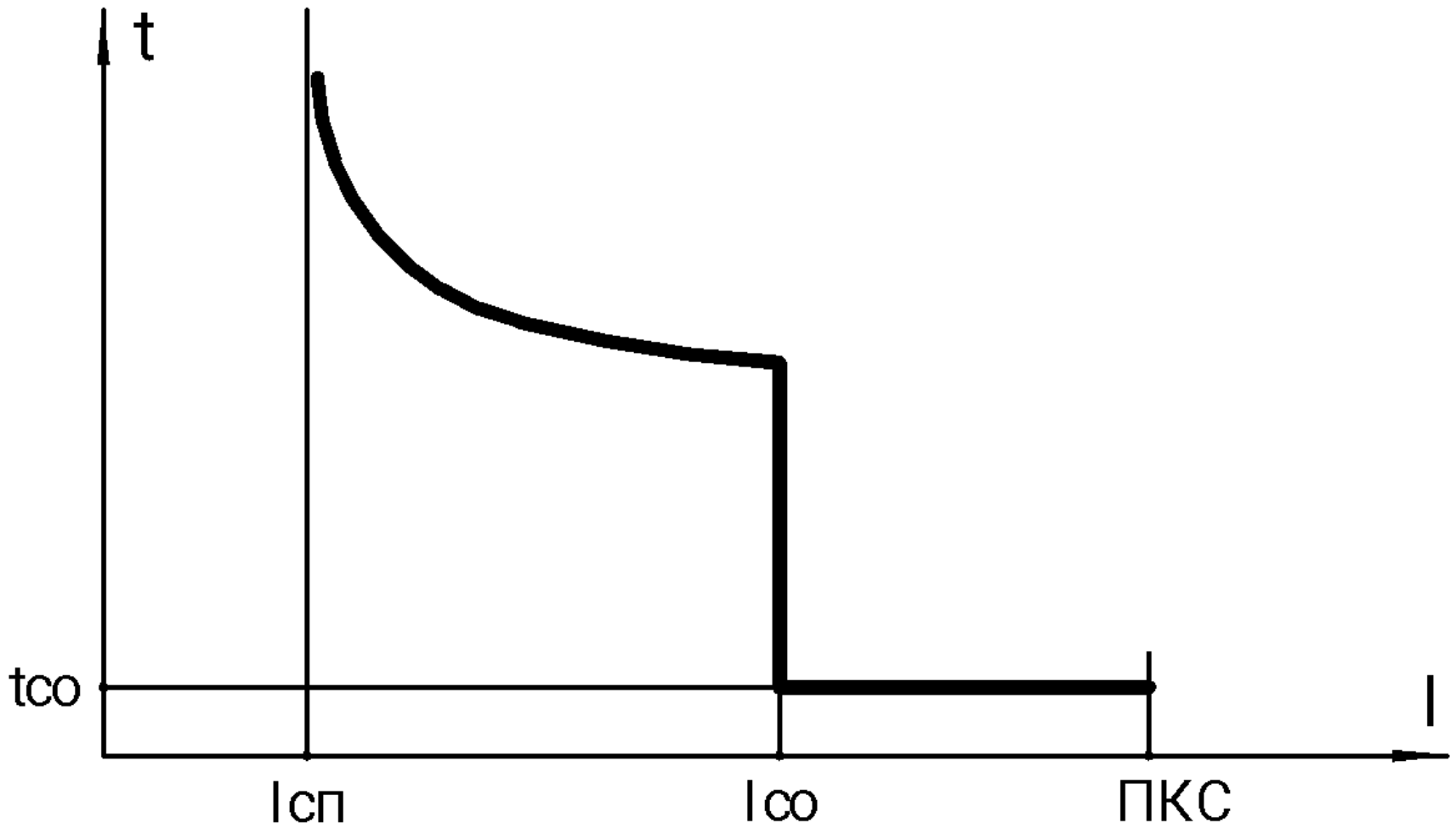
Большие токи
КЗ



Небольшие токи
Перегрузка



Двухступенчатая ВТХ

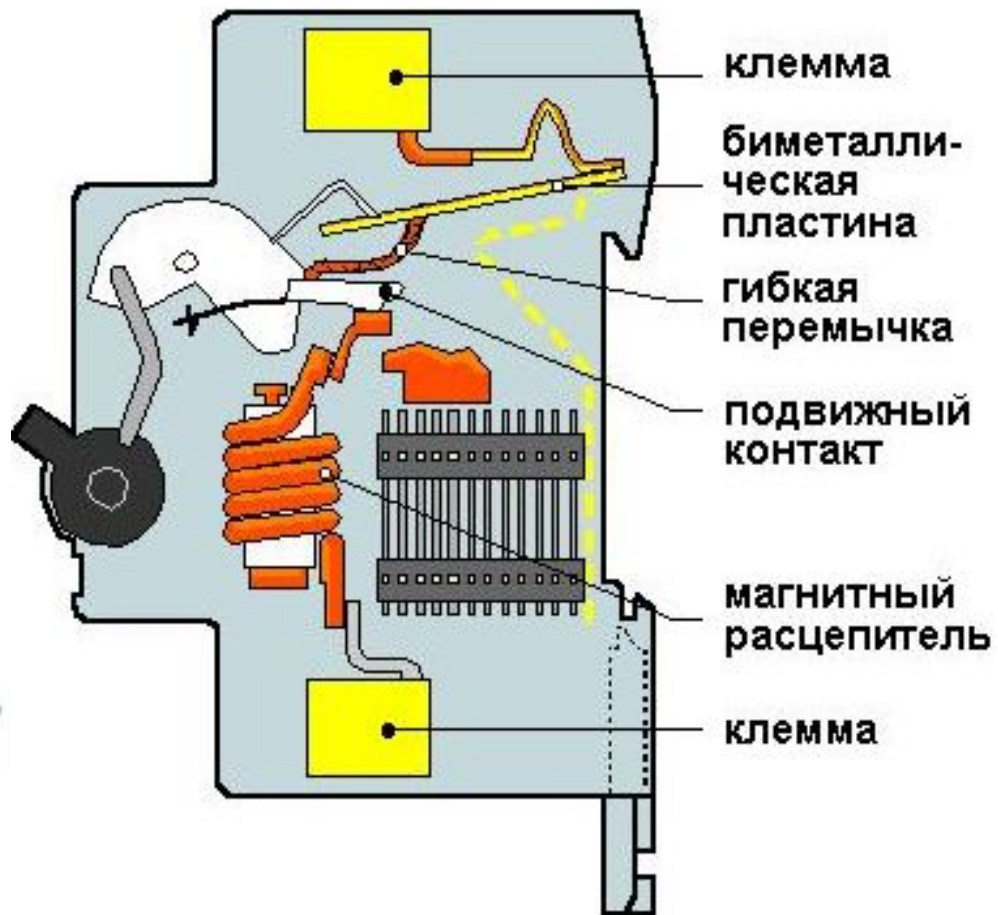
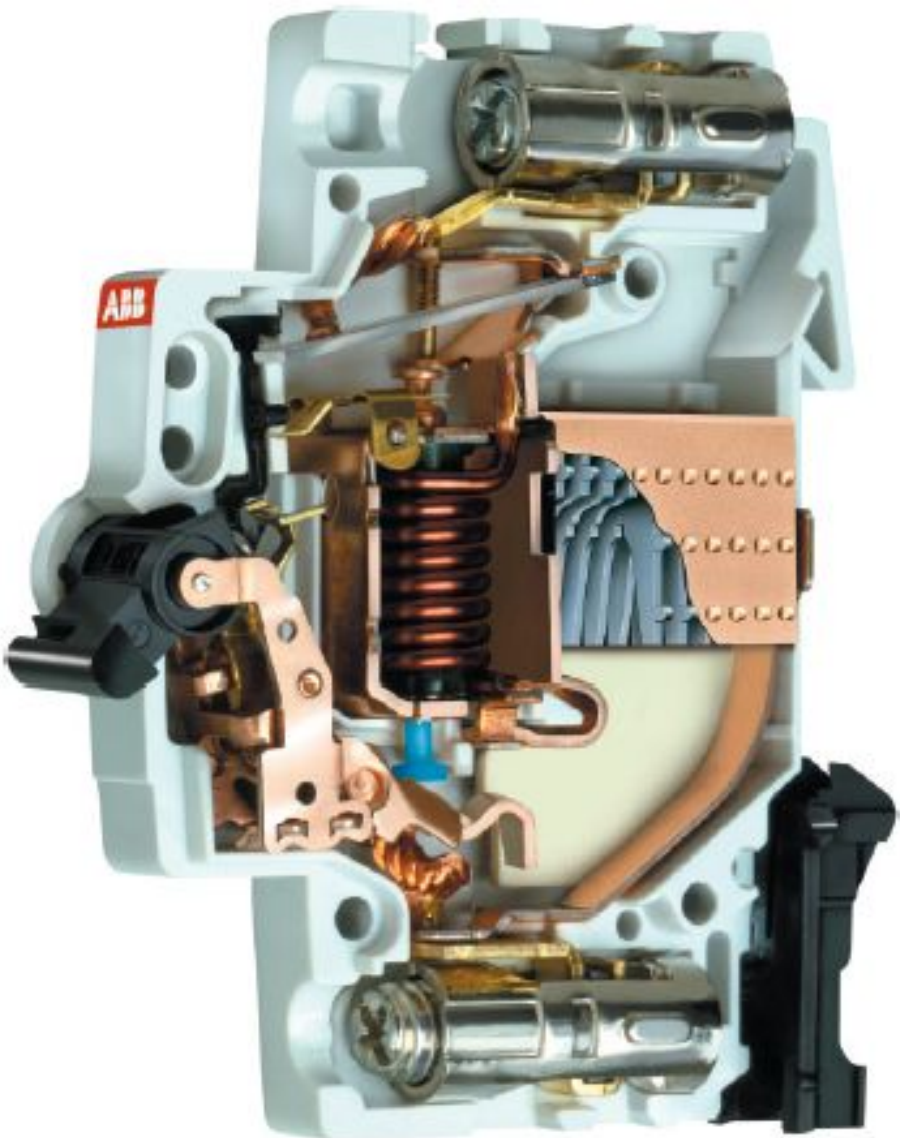


Характеристики АВ по виду кривой отключения

- В – Уставка эвр = **(3...5)**Iном. Освещение, вентильные устройства, генераторы, протяженные линии, установки с малыми пусковыми токами;
- С – Уставка эвр = **(5...10)**Iном. Освещение, розеточные группы, установки с малыми пусковыми токами;
- D – Уставка эвр = **(10...14)**Iном. Двигатели с большими пусковыми токами.

- А. Полупроводниковые устройства, протяжённые цепи.
- К – Уставка эвр = **(10...14)**Iном. Индуктивная нагрузка;
- МА – Уставка эвр = **(9,6...14,4)**Iном. Только электромагнитный расцепитель. Электродвигатели;
- Z – Уставка эвр = **(2,4...3,6)**Iном. Электронные устройства.

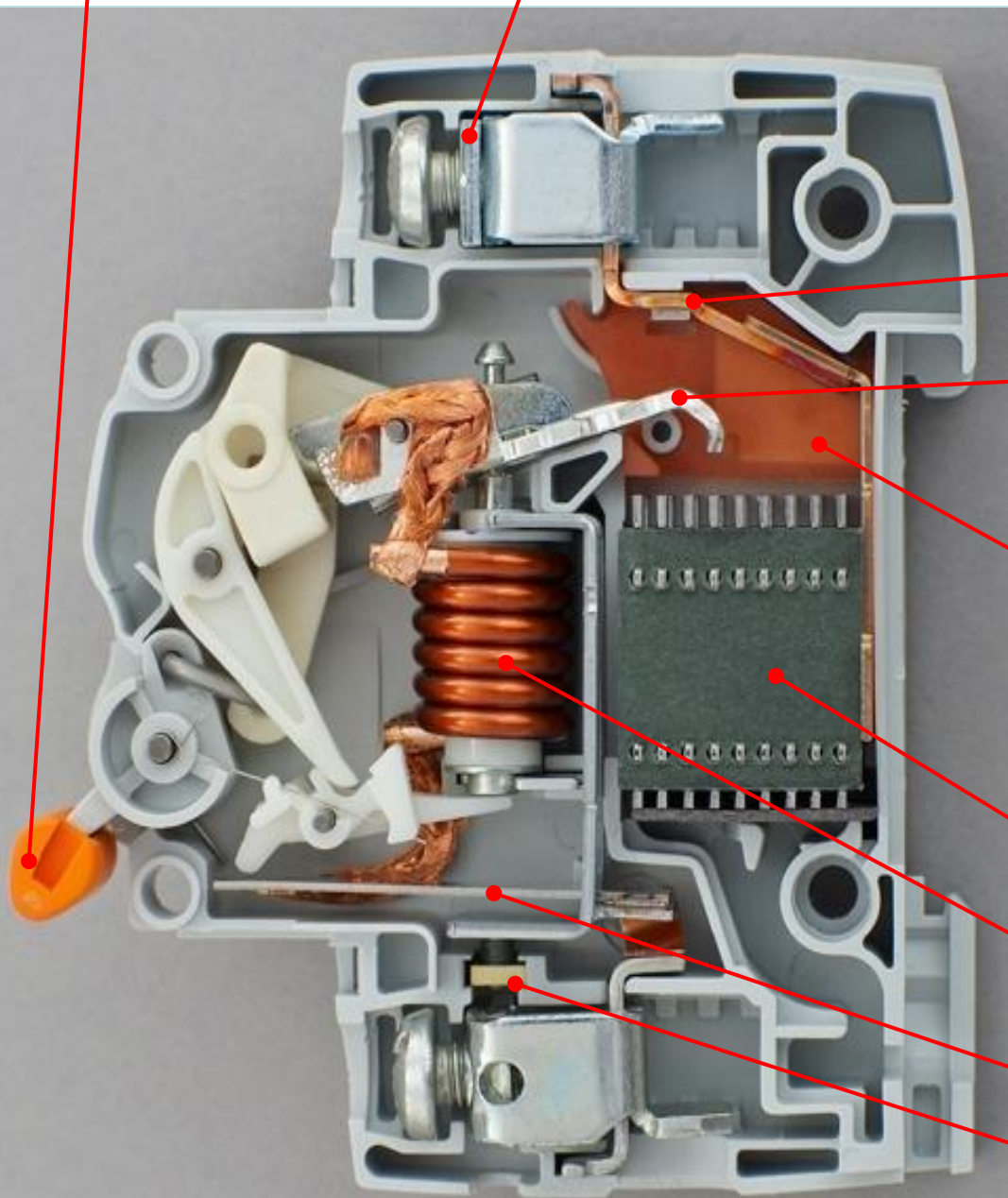
Автоматический выключатель (ABB)



Рукоятка

Клемма

Schneider



Неподвижный контакт

Подвижный контакт

**Накладка
из газогенерирующей
пластмассы**

Дугогасительная камера

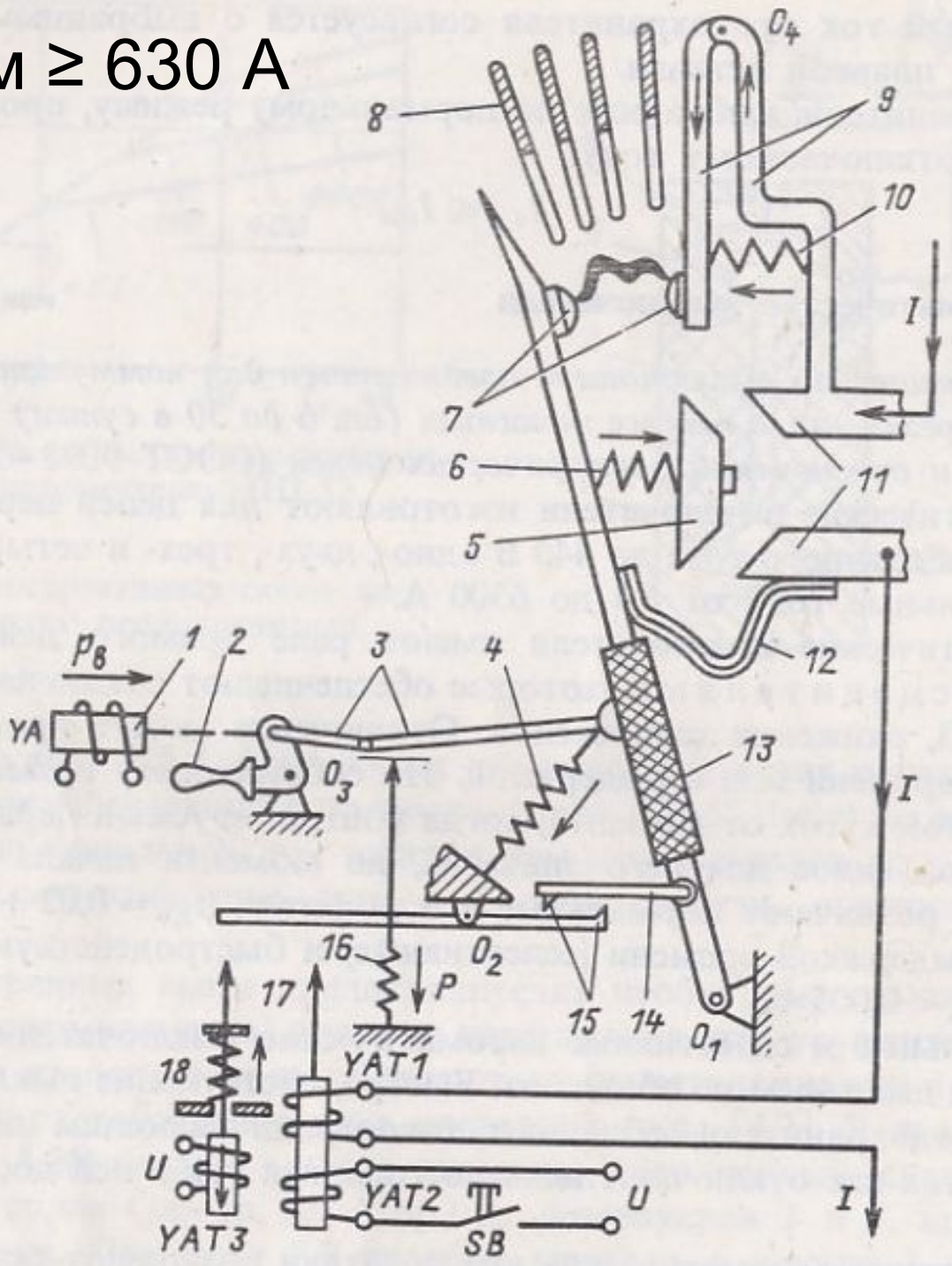
**Электромагнитный
расцепитель**

Би-металлическая пластина

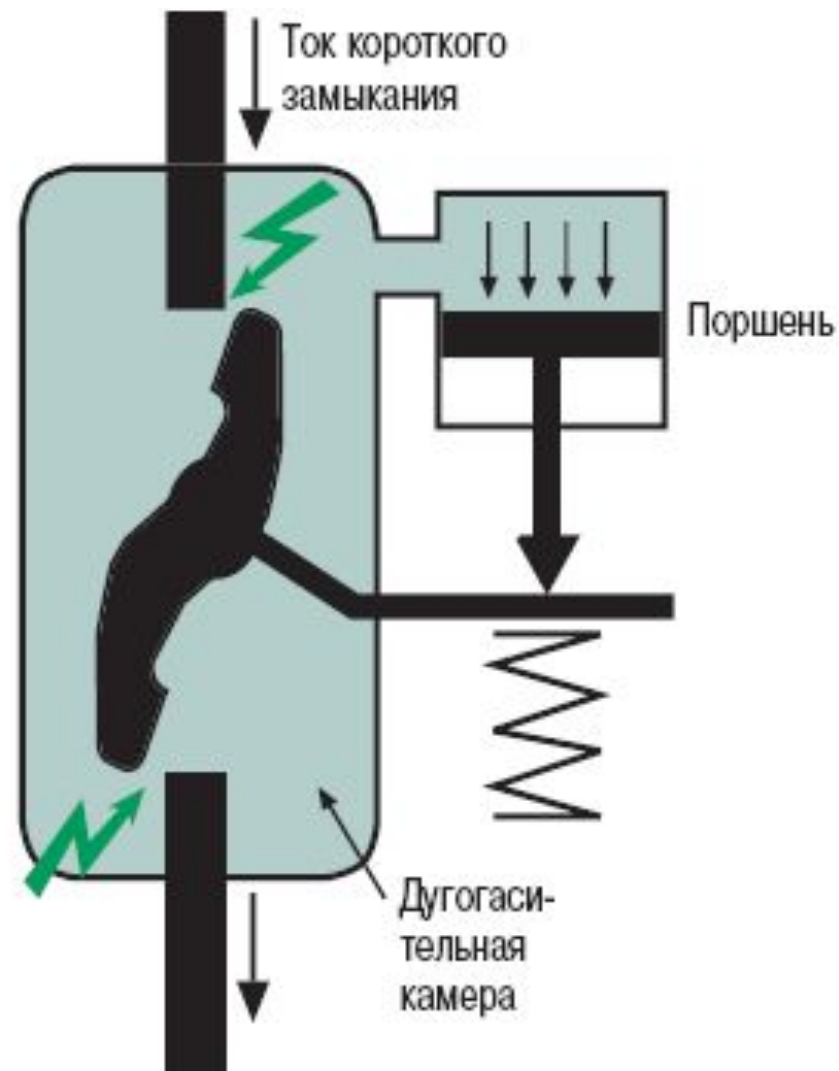
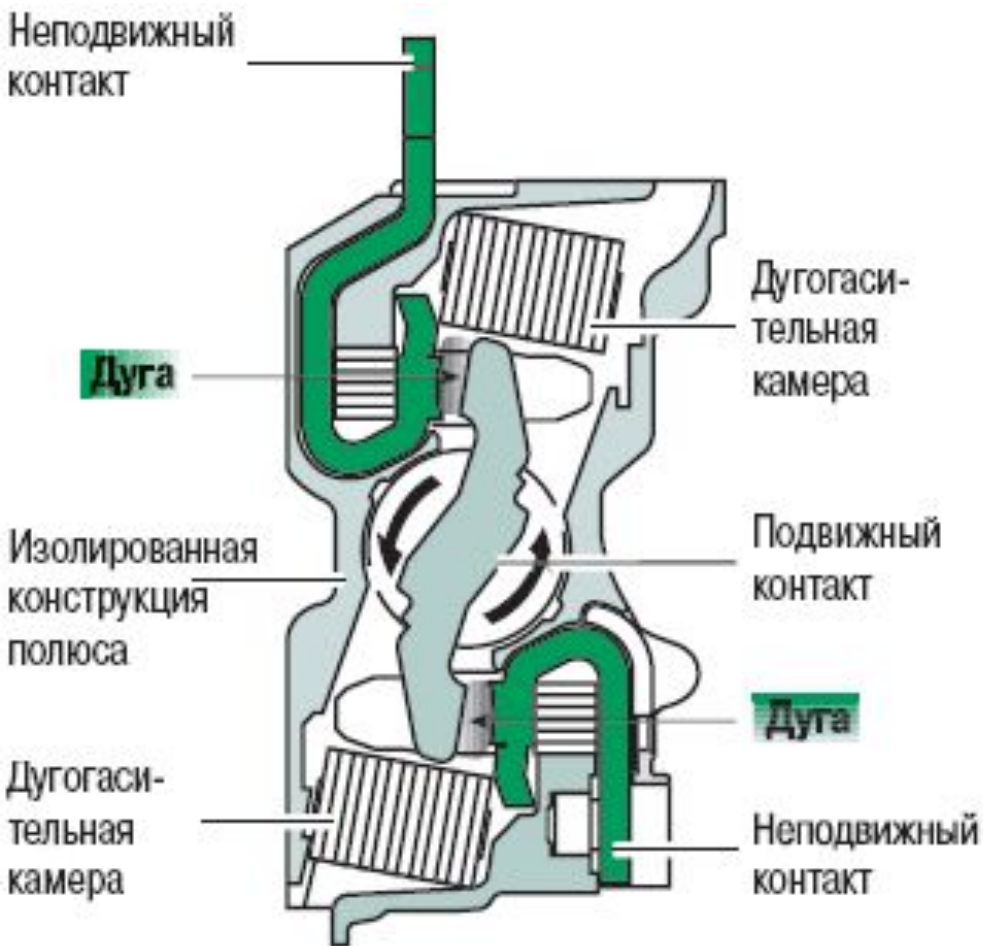
Винт тепловой установки

Конструкция АВ с $I_{ном} \geq 630$ А

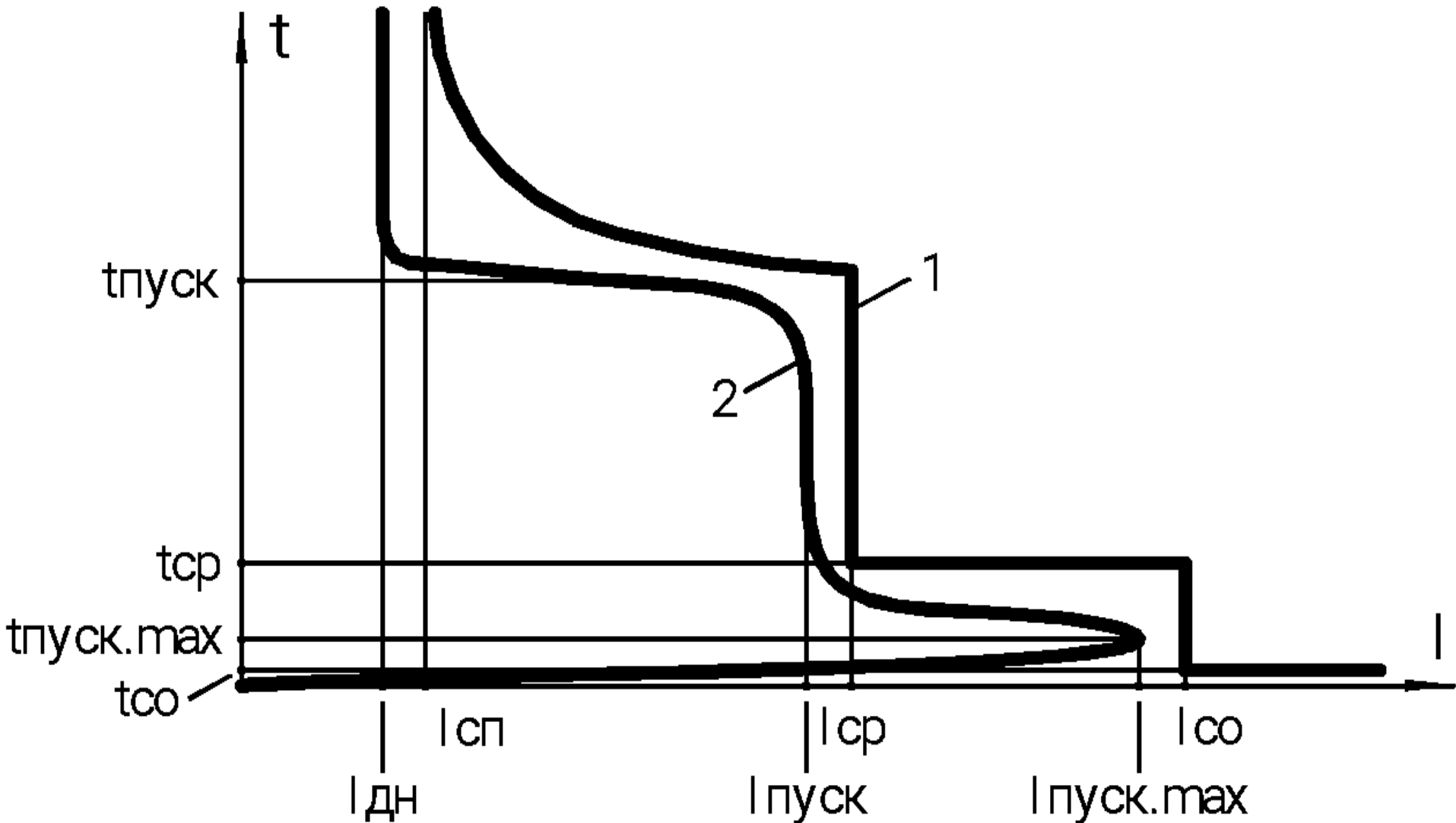
- 1-электромагнитный привод
- 2-рукоятка
- 3-рычаги
- 4-отключающая пружина
- 5-главный подвижный контакт (металлокерамика)
- 6-контактная пружина
- 7-дугогасительные контакты (металлокерамика)
- 8-дугогасительная камера
- 9-изогнутые шинки
- 10-контактная пружина
- 11-главный неподвижный контакт (медь+серебро)
- 12-гибкая связь
- 13-несущая деталь
- 14-защелка
- 15-зубцы- 16-пружина
- 17-максимальный расцепитель
- 18-минимальный расцепитель



Рото-активное размыкание (Компакт фирмы «Schneider»)



Трехступенчатая ВТХ. Координация параметров АВ (1) и электродвигателя (2)



Предохранители

Типы предохранителей

- ПР-2 – разборные без наполнителя
- ПН-2, ПП, НПР – разборные с наполнителем (кварцевый песок)
- НПН, ППН – неразборные с наполнителем

Ориентировочные ВТХ предохранителей

Іпв	Время перегорания
1,3 Іном.пв	1...2 часа
(3...4) Іном.пв	5...20 с
(4...5) Іном.пв	2...8 с
(5...7) Іном.п	1...4 с
(10...15) Іном.пв	0,1...0,2 с

Старение предохранителей

- При пусках, реверсах и торможении двигателей возможен ускоренный износ плавких вставок и изменение их ВТХ.
- Правило: **изменения ВТХ не произойдет, если ток, протекающий через вставку, меньше половины тока её плавления за то же время.**
- Пример:
Ток $5I_{\text{НОМ.ПВ}}$ плавит вставку за 3 с.
Значит, при токах до $2,5I_{\text{НОМ.ПВ}}$, действующих в течение 3 с, ускоренного износа не будет.

При выборе предохранителей электродвигатели делят на 3 группы

1. АЭД с КЗР с лёгкими условиями пуска:

- $t_{\text{пуск}} = 2...5 \text{ с}$
- пуски менее 15 раз в час
- вентиляторы, металлорежущие станки, насосы, транспортеры

2. АЭД с КЗР с тяжёлыми условиями пуска:

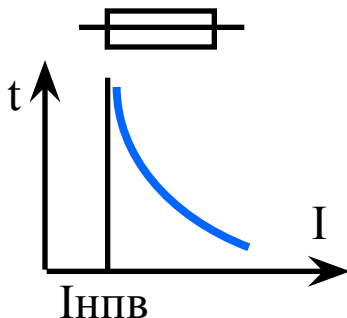
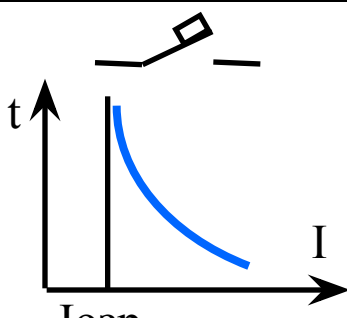
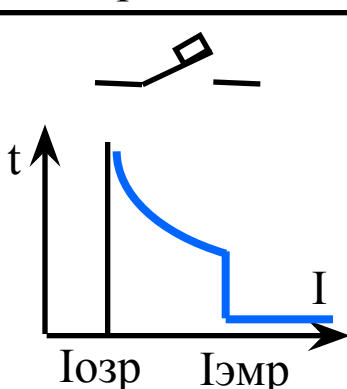
- $t_{\text{пуск}} = 10...15 \text{ с}$
- пуски более 15 раз в час
- мельницы, дробилки, центрифуги, краны

3. АЭД с ФР

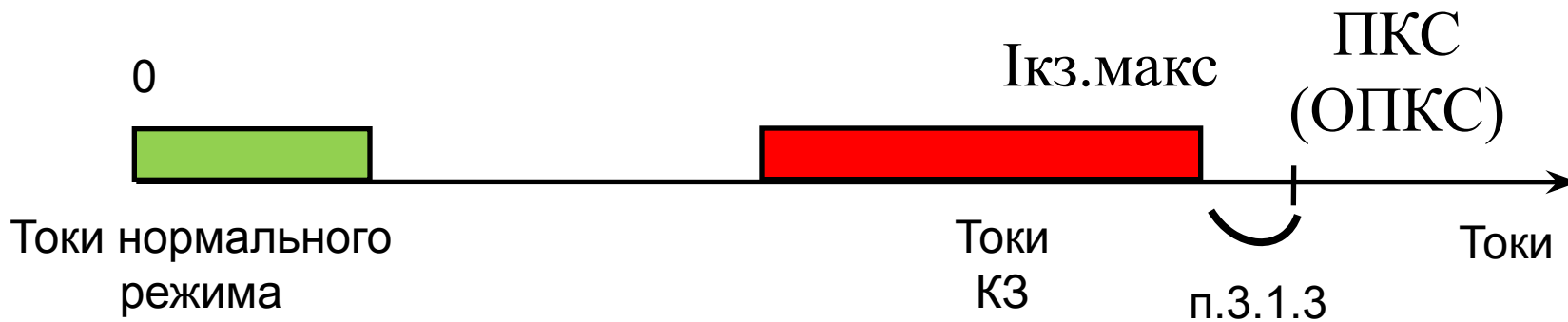
- $I_{\text{пуск}} \leq 2 I_{\text{ном}}$

Выбор предохранителей для ЭД

- для АЭД с лёгкими условиями пуска:
 $I_{ном.пв} = (0,4...0,5) I_{пуск}$
- для АЭД с тяжёлыми условиями пуска:
 $I_{ном.пв} = (0,5...0,6) I_{пуск}$
- для АЭД с ФР:
 $I_{ном.пв} = (1,1...1,25) I_{ном.дв}$

Аппарат защиты	Осветительная сеть		Силовая сеть	
	ЛН, ЛЛ	ДРЛ, ДРИ, ДНаТ	Линия к	
			одиночным электроприёмника	Линия к группам электроприёмников
	$I_{нпв} \geq I_{нагр}$	$I_{нпв} \geq 1,2 I_{нагр}$	<p style="text-align: center;">М</p> $I_{нпв} \geq I_{ном}$ $I_{нпв} \geq I_{пуск}/2,5$	$I_{нпв} \geq \sum I_{нагр}$ $I_{нпв} \geq \underline{I_{пуск.max} + \sum I_{нагр}}_{2,5}$
	$I_{озр} \geq I_{нагр}$	$I_{озр} \geq 1,3 I_{нагр}$	$I_{озр} \geq 1,25 I_{ном}$	$I_{озр} \geq 1,1 \sum I_{нагр}$
	$I_{озр} \geq I_{нагр}$	$I_{озр} \geq 1,3 I_{нагр}$	$I_{озр} \geq 1,25 I_{нагр}$ $I_{эмр} \geq 1,2 I_{пуск}$	$I_{озр} \geq 1,1 \sum I_{нагр}$ $I_{эмр} \geq 1,2 (I_{пуск.max} + \sum I_{нагр})$

Отключающая способность

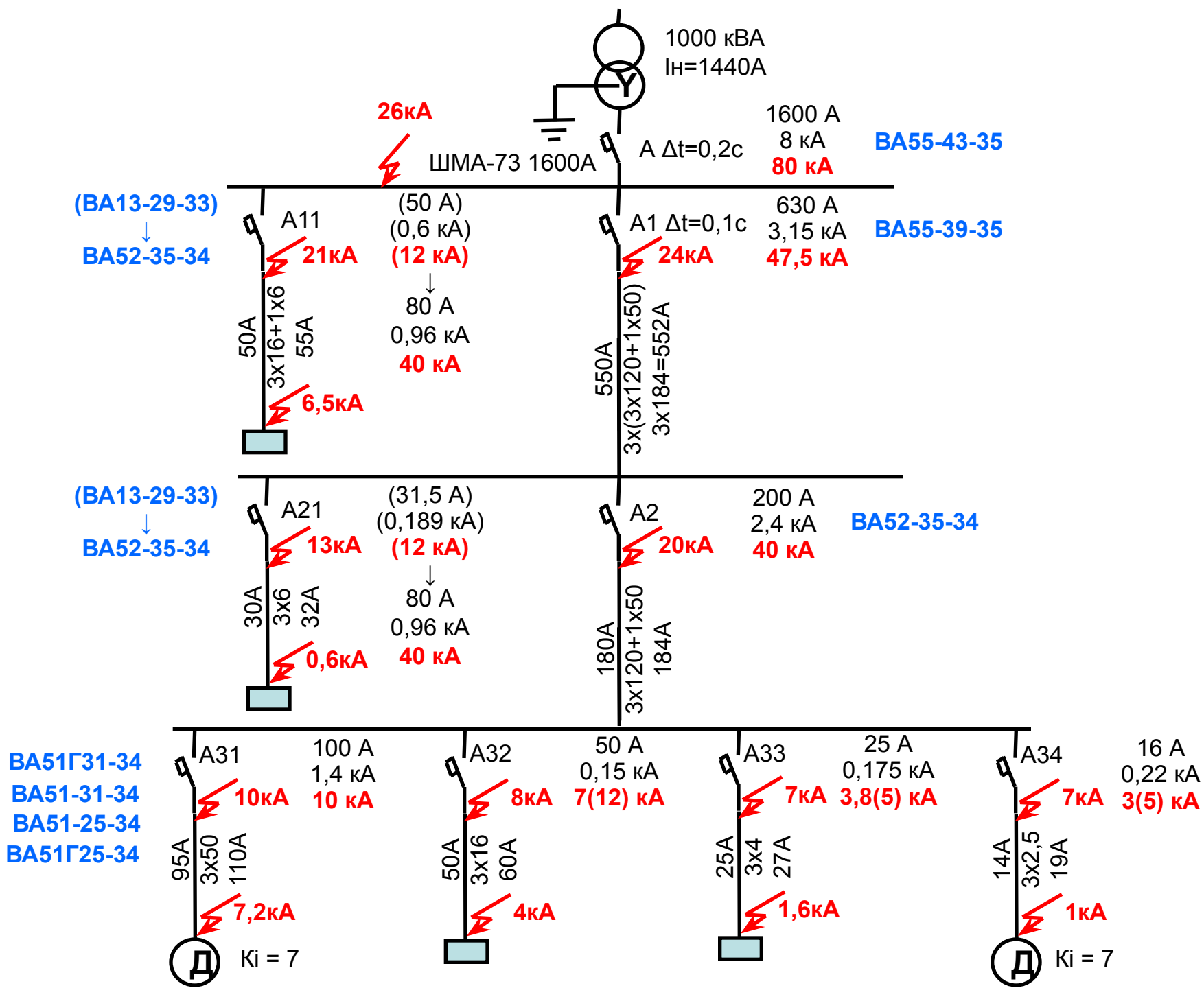


Требования к отключающей способности АВ (ПУЭ, п.3.1.3)

Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка электрической сети.

Допускается установка аппаратов защиты, нестойких к максимальным значениям тока КЗ, а также выбранных по значению ОПКС, если выполняются условия:

- 1) защищающий их групповой аппарат или ближайший аппарат, расположенный по направлению к источнику питания, обеспечивает **мгновенное** отключение тока КЗ;
- 2) ток уставки мгновенного расцепителя вышестоящего аппарата **меньше тока ОПКС** каждого из группы нестойких аппаратов;
- 3) такое неселективное отключение всей группы аппаратов не грозит аварией, порчей дорогостоящего оборудования и материалов или расстройством сложного технологического процесса.



Примечание

В обозначении автоматов ВА вместо дефиса иногда ставится буква Г.

Это значит, что АВ предназначен для защиты двигателей.

ВА51Г31-34

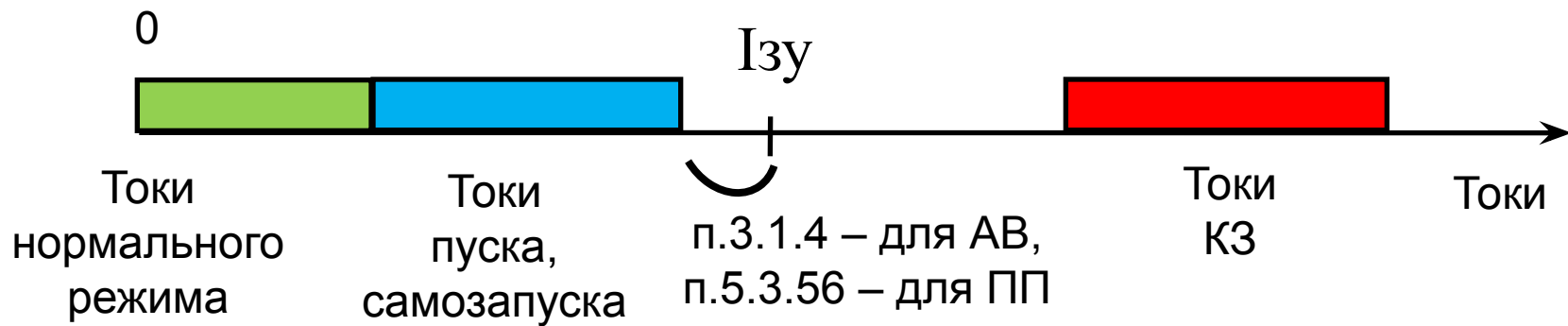
Выбор предохранителей по отключающей способности (п.1.4.20)

Предохранители следует выбирать по отключающей способности.

При этом в качестве расчетного тока следует принимать действующее значение периодической составляющей начального тока КЗ **без учета токоограничивающей способности предохранителей.**



Остройка от пусков, самозапусков



Координация ЗУ-электроприёмник (ПУЭ, п.3.1.4)

Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок АВ следует выбирать:

1) по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам электроприемников,

но таким образом, чтобы

2) аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках (пусковые токи, пики технологических нагрузок, токи при самозапуске и т. п.).

При этом следует учитывать разброс характеристик двигателей и АВ:

а) K_i двигателя может реально быть больше на 20%, чем каталожное значение;

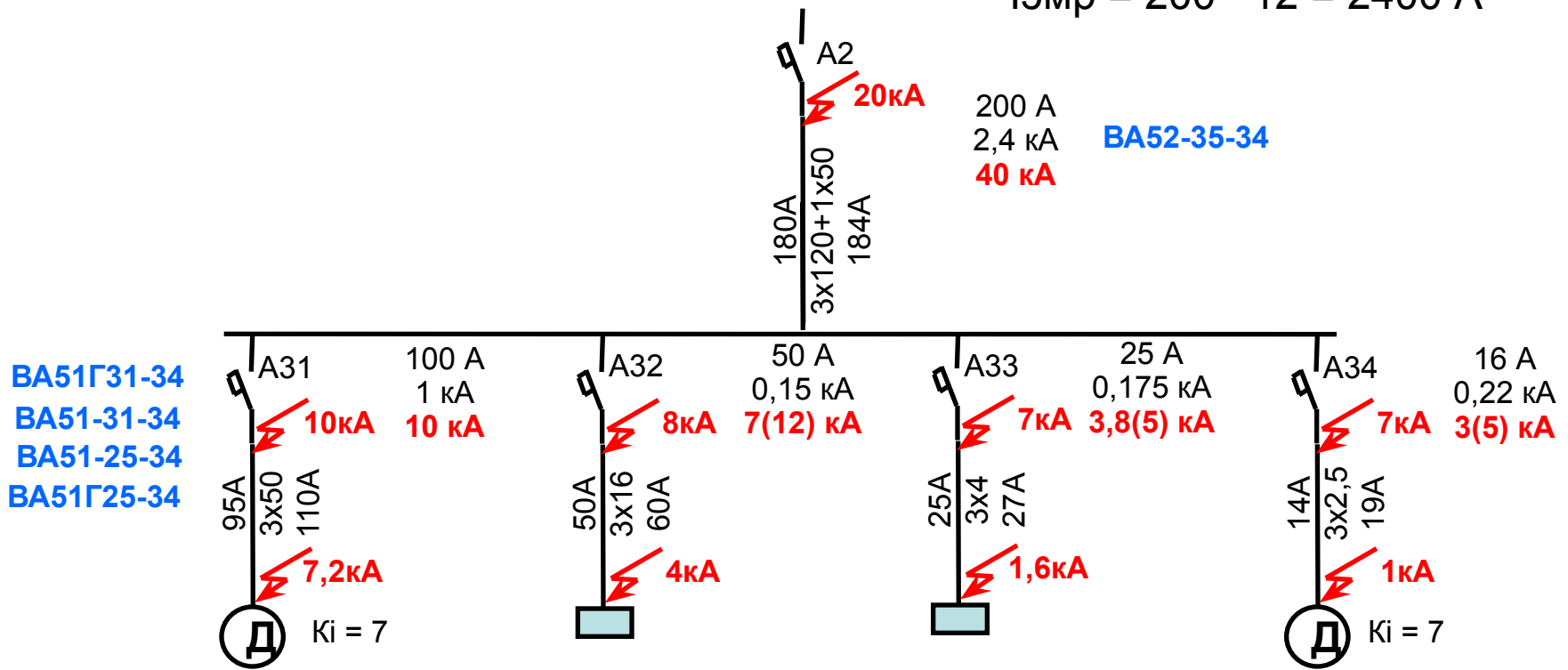
б) Ток срабатывания отсечки АВ может реально быть меньше на 20%, чем уставка.

Выбор уставок расцепителей АВ (п. 3.1.4 ПУЭ)

Для линии 31
 $K_i = 7 \cdot 1,2 = 8,4$ (повышается на 20%);
 $I_{\text{пуск}} = 95 \cdot 8,4 = 798 \text{ A}$;
 ток срабатывания отсечки с кратностью 10:
 $I_{\text{эмр}} = 100 \cdot 10 \cdot 0,8 = 800 \text{ A}$ (снижается на 20%).

Для линии 34
 $K_i = 7 \cdot 1,2 = 8,4$ (повышается на 20%);
 $I_{\text{пуск}} = 14 \cdot 8,4 = 118 \text{ A}$;
 ток срабатывания отсечки с кратность 14:
 $I_{\text{эмр}} = 16 \cdot 14 \cdot 0,8 = 179 \text{ A}$ (снижается на 20%).

Для линии 2
 максимальный пик тока в
 линии:
 $180 + 95 \cdot 7 = 845 \text{ A}$
 ток срабатывания отсечки с
 кратностью 12:
 $I_{\text{эмр}} = 200 \cdot 12 = 2400 \text{ A}$



Выбор предохранителей (п. 5.3.56 ПУЭ)

Выбор предохранителей (п. 5.3.56 ПУЭ)

Номинальные токи плавких вставок предохранителей должны выбираться таким образом, чтобы обеспечивалось надежное отключение КЗ на зажимах электродвигателя (см. 1.7.79 и 3.1.8)

и вместе с тем чтобы электродвигатели при нормальных для данной электроустановки толчках тока (пиках технологических нагрузок, пусковых токах, токах самозапуска и т. п.) не отключались этой защитой.

С этой целью

для электродвигателей механизмов с **легкими** условиями пуска отношение пускового тока электродвигателя к номинальному току плавкой вставки должно быть не более **2,5**,

а для электродвигателей механизмов с **тяжелыми** условиями пуска (большая длительность разгона, частые пуски и т.п.) это отношение должно быть равным **2,0-1,6**.

Для электродвигателей **ответственных** механизмов с целью особо надежной отстройки предохранителей от толчков тока допускается принимать это отношение равным **1,6** независимо от условий пуска электродвигателя, если кратность тока КЗ на зажимах электродвигателя составляет не менее указанной в 3.1.8.

ПЗ1: тяжелые условия пуска

$I_{пв} = I_{пуск} / 1,6 = 95 \cdot 7 / 1,6 = 416 \text{ A}$

ПН2-600 с $I_{пв} = 500 \text{ A}$, $I_{пкс} = 25 \text{ кА}$

ПЗ2: ПН2-100 с $I_{пв} = 50 \text{ A}$, $I_{пкс} = 100 \text{ кА}$

ПЗ3: ПР-25 с $I_{пв} = 25 \text{ A}$, $I_{пкс} = 30 \text{ кА}$

ПЗ4: лёгкие условия пуска

$I_{пв} = I_{пуск} / 2,5 = 14 \cdot 7 / 2,5 = 39,2 \text{ A}$

НПН2-60 с $I_{пв} = 40 \text{ A}$, $I_{пкс} = 10 \text{ кА}$

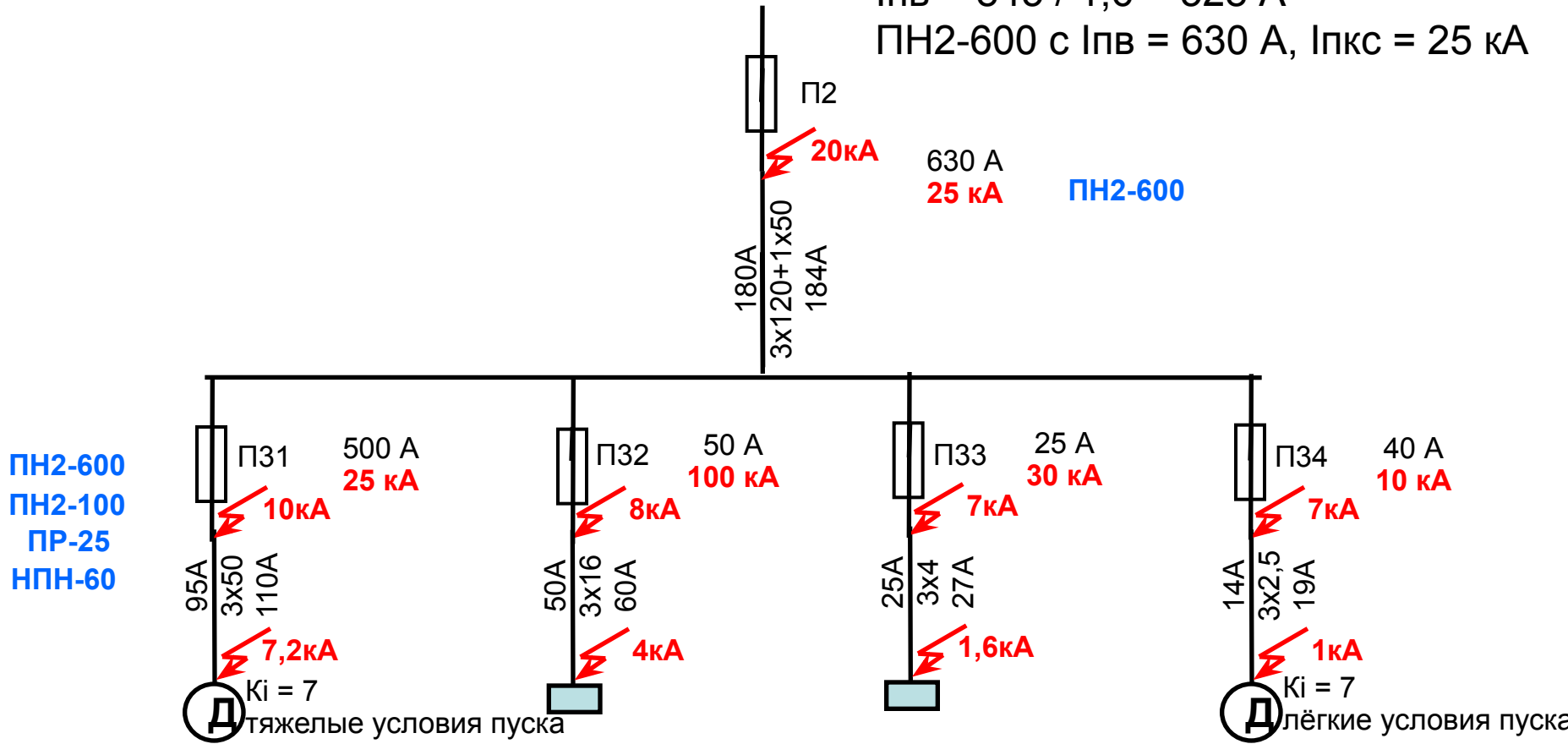
Для линии 2

максимальный пик тока в линии:

$180 + 95 \cdot 7 = 845 \text{ A}$

$I_{пв} = 845 / 1,6 = 528 \text{ A}$

ПН2-600 с $I_{пв} = 630 \text{ A}$, $I_{пкс} = 25 \text{ кА}$



Координация АВ-кабель

Часто уставки аппаратов защиты необоснованно связывают с сечением защищаемой линии.

При этом исходят из того, что сечение линии выбрано по нагрузке.

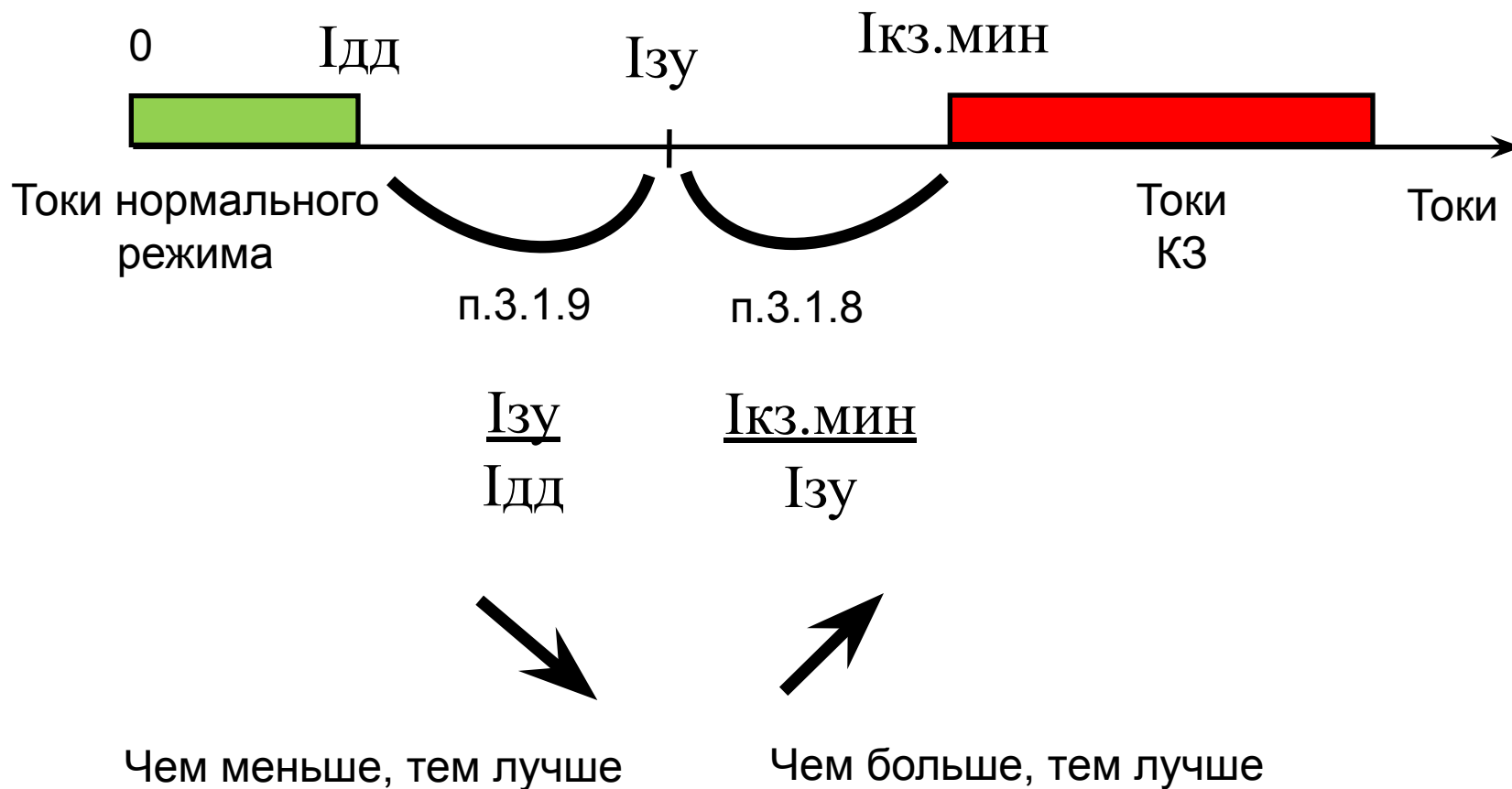
На самом деле, сечение линии в ряде случаев может быть выбрано по иным условиям:

- по потере напряжения;
- по термической стойкости и невозгораемости кабелей;
- по механической прочности кабелей.

Таким образом, если выбирать уставки аппаратов защиты по длительно допустимому току проводников, то чувствительность защиты будет необоснованно снижена.

Поэтому уставки аппаратов защиты следует выбирать по электрической нагрузке.

Чувствительность



Чувствительность

3.1.8. Электрические сети должны иметь защиту от токов КЗ, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности.

Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии:

- одно-, двух- и трехфазных в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- двух- и трехфазных в сетях с изолированной нейтралью.

Надежное отключение поврежденного участка сети обеспечивается, если отношение наименьшего расчетного тока КЗ к номинальному току плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя будет не менее значений, приведенных в 1.7.79 и 7.3.139.

7.3.139. В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью в целях обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или нулевой защитный проводник возникал ток КЗ, превышающий:

- **не менее чем в 4 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя;**
- **не менее чем в 6 раз ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратозависимую от тока характеристику.**

ПУЭ, 7-е издание, п.1.7.79

В системе TN **время** автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл.1.7.1.

Приведенные значения **времени** отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса I.

Uном.ф, В	tоткл, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
> 380	0,1

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, **время** отключения не должно превышать 5 с.

Допускаются значения **времени** отключения более указанных в табл. 1.7.1, но не более 5 с в цепях, питающих только стационарные электроприемники от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

- 1) полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом:
$$50 \cdot Z_{\text{ц}} / U_0$$
где $Z_{\text{ц}}$ - полное сопротивление цепи “фаза-нуль”, Ом;
 U_0 - номинальное фазное напряжение цепи, В;
50 - падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В;
- 2) к шине РЕ распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

Допускается применение УЗО, реагирующих на дифференциальный ток.

ПУЭ, 6-е издание, п.1.7.79

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка **проводимость фазных и нулевых защитных проводников** должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток КЗ, превышающий не менее чем:

- в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя;
- в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), проводимость указанных проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса 1,1.

При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А - не менее 1,25.

Полная проводимость нулевого защитного проводника во всех случаях должна быть не менее 50 % проводимости фазного проводника.

Если требования настоящего параграфа не удовлетворяются в отношении значения тока замыкания на корпус или на нулевой защитный проводник, то отключение при этих замыканиях должно обеспечиваться при помощи специальных защит.

ПУЭ, 6-е издание, п.1.7.79

Проводимость фазных проводников и РЕ должна быть такой, чтобы при замыкании на корпус или на РЕ возникал ток КЗ:

- > $3 \cdot I_{ном.пв}$ предохранителя;
- > $3 \cdot I_{ном.озр}$ автоматического выключателя.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими **только** ЭМР:

- > $1,1 \cdot K_{разброса} \cdot I_{ном.эмр}$.
При отсутствии заводских данных:
- > $1,4 \cdot I_{ном.эмр}$ (при $I_{ном} \leq 100 \text{ A}$),
- > $1,25 \cdot I_{ном.эмр}$ (при $I_{ном} > 100 \text{ A}$).

Полная проводимость РЕ должна быть не менее 50 % проводимости фазного проводника.

Если требования настоящего параграфа не удовлетворяются в отношении значения тока замыкания на корпус или на РЕ, то отключение при этих замыканиях должно обеспечиваться при помощи специальных защит.

ПТЭ электроустановок потребителей 2003 г. Приложение 3, таблица 28, п.28.4

При замыкании на корпус или нулевой рабочий проводник ток ОКЗ должен составлять не менее:

- 3-кратного значения номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- 3-кратного значения номинального тока **нерегулируемого** расцепителя автоматического выключателя с обратозависимой от тока характеристикой;
- 3-кратного значения уставки по току срабатывания **регулируемого** расцепителя автоматического выключателя обратозависимой от тока характеристикой;
- значения $1,1 \cdot I_{ном} \cdot N$ для автоматических выключателей с **МГНОВЕННЫМ** расцепителем, где $N = 5; 10; 20$ при характеристиках В, С, D;
I_{ном} – номинальный ток автоматического выключателя.

Чувствительность

3.1.9. В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки согласно 3.1.10), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, **допускается не выполнять расчетной проверки** приведенной в **7.3.139** кратности тока КЗ, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

- **300%** для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- **450%** для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);
- **100%** для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);
- **125%** для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка, то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

Наличие аппаратов защиты с завышенными уставками тока не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх указанных в гл. 1.3.

Пояснение к п. 3.1.9

Учитывая недостаточную достоверность результатов определения токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ и в целях освобождения проектировщиков от трудоемких расчетов, допускается при определенных условиях, **не делать расчетную проверку кратности тока КЗ** на соответствие требованиям п. 3.1.8.

Оговоренные в п. 3.1.9 кратности токов всегда можно обеспечить, завышая сечение проводников, выбранных по расчетному току. Но это противоречит требованиям экономного расходования проводниковых материалов.

Поэтому, если эти кратности обеспечиваются для сечения проводника, выбранного по расчетному току, делать проверку кратности тока КЗ не обязательно.

Если же оговоренные в п. 3.1.9 кратности могут быть обеспечены только за счет увеличения сечения проводника, необходимо выполнять расчетную проверку для сечения, выбранного по расчетному току.

Если проверка покажет, что кратность тока КЗ удовлетворяет требованиям п. 3.1.8, увеличивать сечение проводника не нужно.

Чувствительность

3.1.9. В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки согласно 3.1.10), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, **допускается не выполнять расчетной проверки** приведенной в 7.3.139 кратности тока КЗ, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

- **300%** для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- 450% для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);
- 100% для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);
- 125% для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка, то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

Наличие аппаратов защиты с завышенными уставками тока не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх указанных в гл. 1.3.

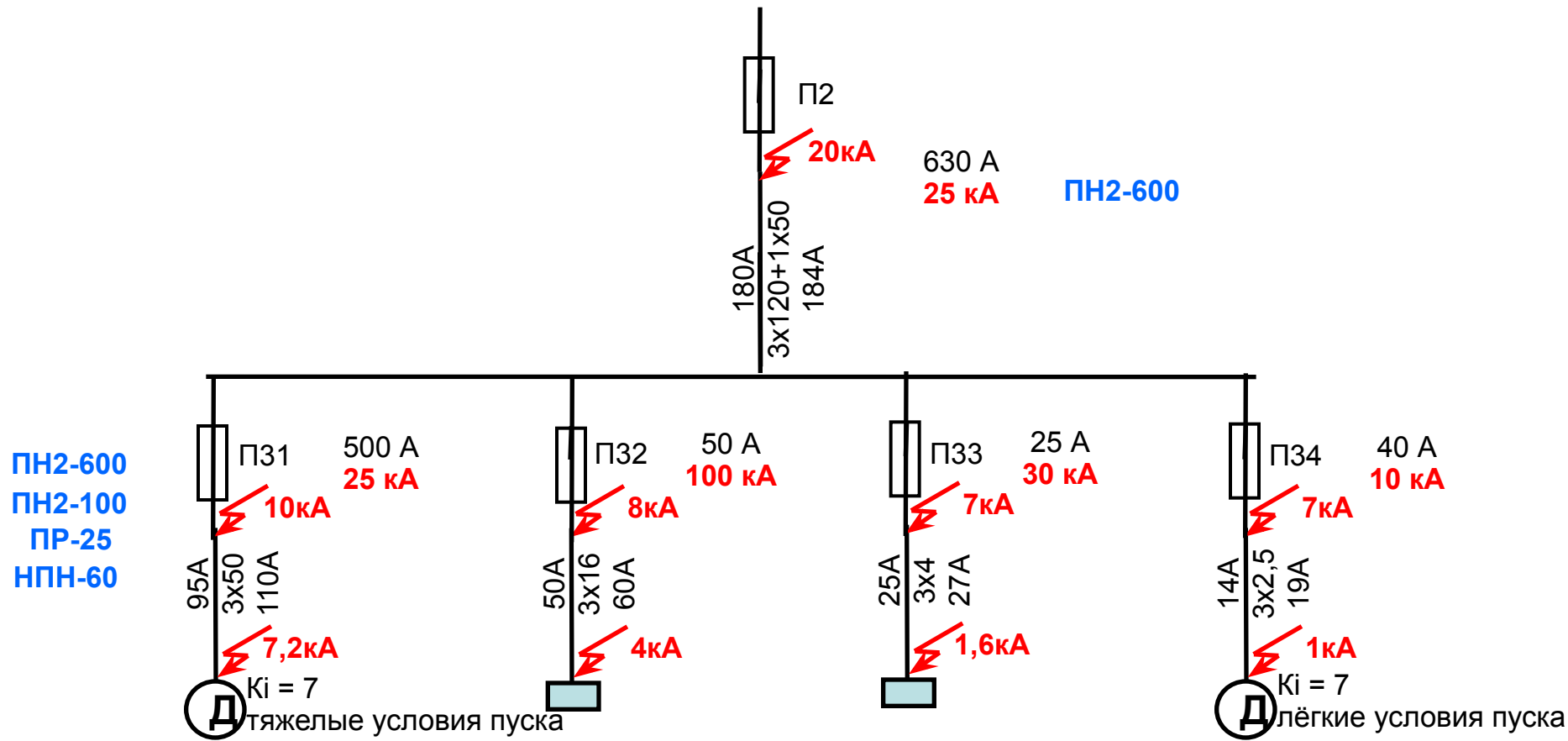
$$\text{П31: } K = 500/110 = 4,55 > 3$$

$$\text{П32: } K = 50/60 = 0,83$$

$$\text{П33: } K = 25/27 = 0,93$$

$$\text{П34: } K = 40/19 = 2,11$$

$$\text{П2: } K = 630/184 = 3,42 > 3$$



3.1.13. В случаях, когда **требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника**, определенная по 3.1.9 и 3.1.11, не совпадает с данными таблиц допустимых нагрузок, приведенных в гл. 1.3, допускается применение проводника ближайшего меньшего сечения, но не менее, чем это требуется по расчетному току.

Пояснения:

- 1) **требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника** – это наименьший ток, удовлетворяющий кратностям, оговоренным в пп. 3.1.9, 3.1.11.
- 2) В целях экономии проводникового материала допускается некоторое увеличение этих кратностей. Можно применять ближайшее меньшее сечение.

Алюминий

ПЗ1:

3-жильный кабель

Идд.треб = $500/3 = 167$ А

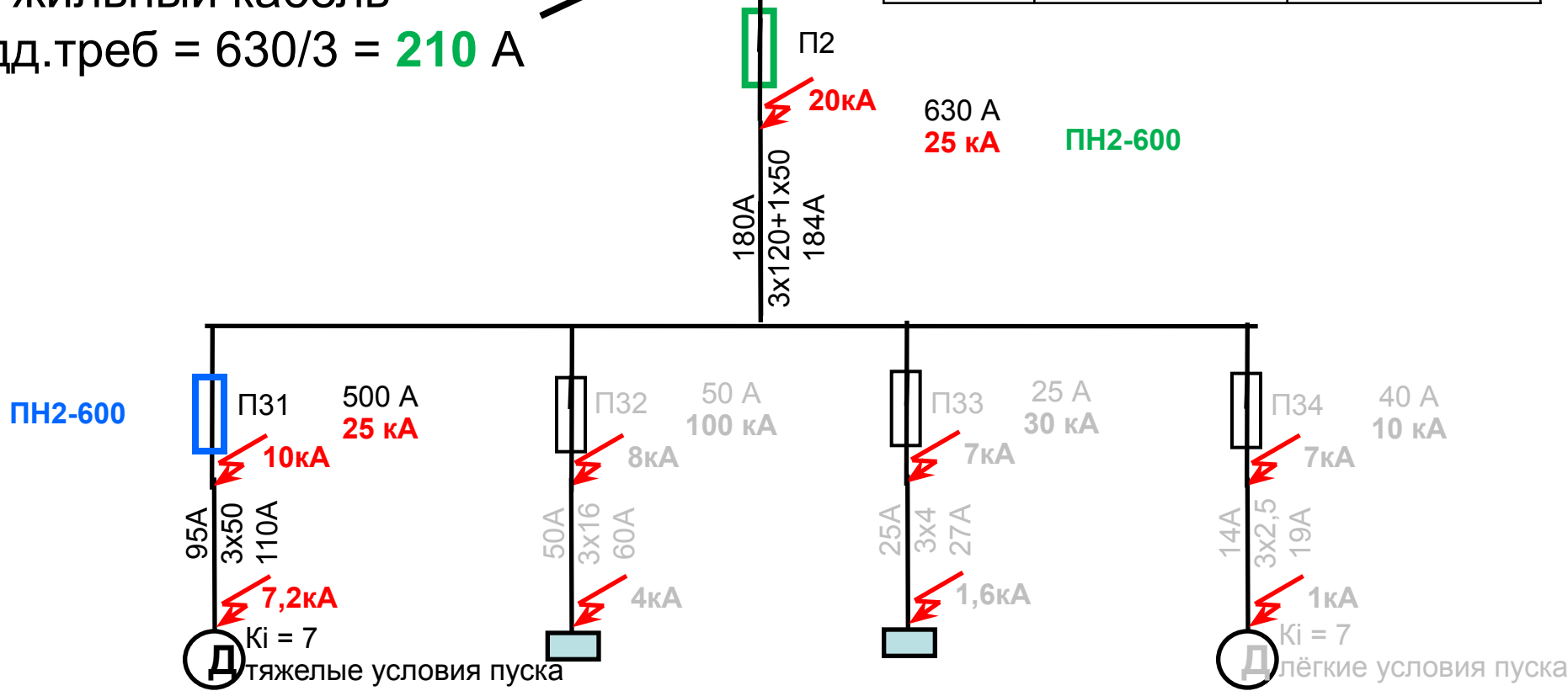
Требуется проверка по
минимальному току КЗ

П2:

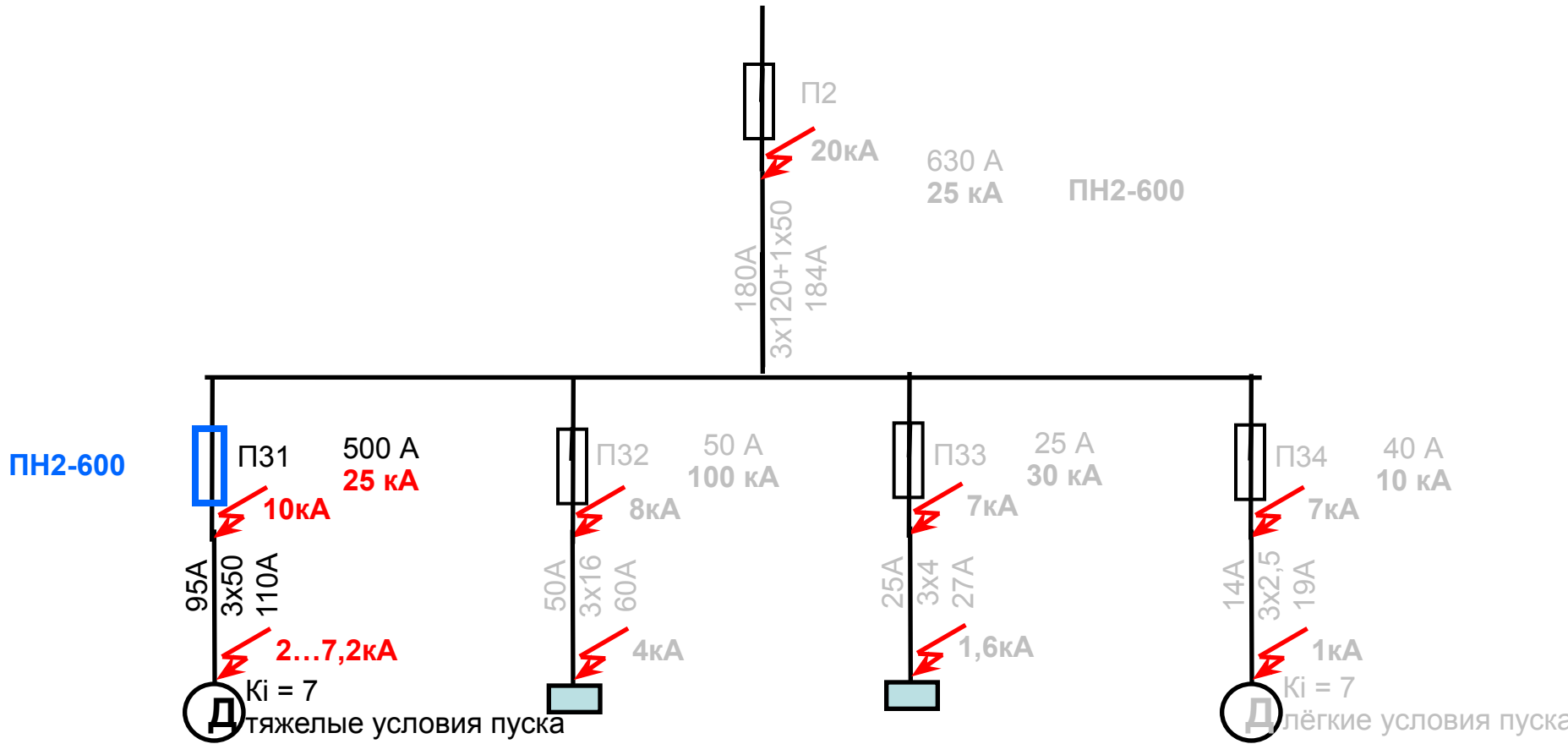
4-жильный кабель

Идд.треб = $630/3 = 210$ А

S, мм ²	3-жильные	4-жильные
50	110	101
70	140	129
95	170	156
120	200	184
150	235	216
185	270	248



ПЗ1:
 $K_{ч} = 2000/500 = 4 > 3$
 по п.1.7.79



Чувствительность

3.1.9. В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки согласно 3.1.10), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, **допускается не выполнять расчетной проверки** приведенной в 7.3.139 кратности тока КЗ, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

- 300% для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- **450%** для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);
- 100% для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);
- 125% для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка, то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

Наличие аппаратов защиты с завышенными уставками тока не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх указанных в гл. 1.3.

Допустим, для защиты линии 33 выбран ВА13-25-32, имеющий только максимальный мгновенный расцепитель.

$$K = 175/27 = \mathbf{6,48} > 4,5.$$

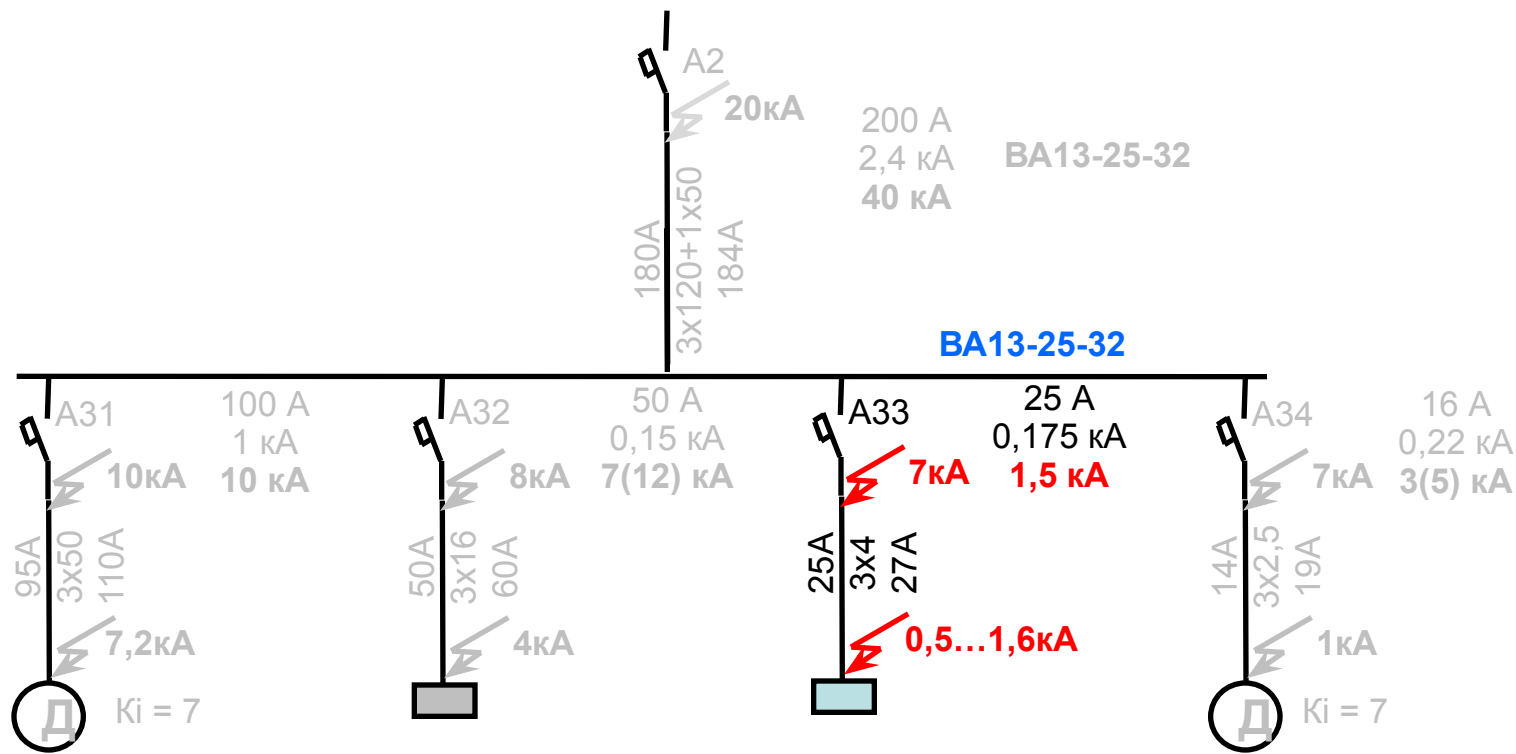
$$I_{дд.треб} = 175/4,5 = 39 \text{ A}$$

Требуется проверка по минимальному току КЗ:

$$I_{кз} > 1,1 \cdot K_{разброса} \cdot I_{ном.эмр.}$$

$$500 > 1,1 \cdot 1,2 \cdot 175 = 231 \text{ A}$$

S, мм ²	I _{дд} , А
4	27
6	32
10	42
16	60
25	75

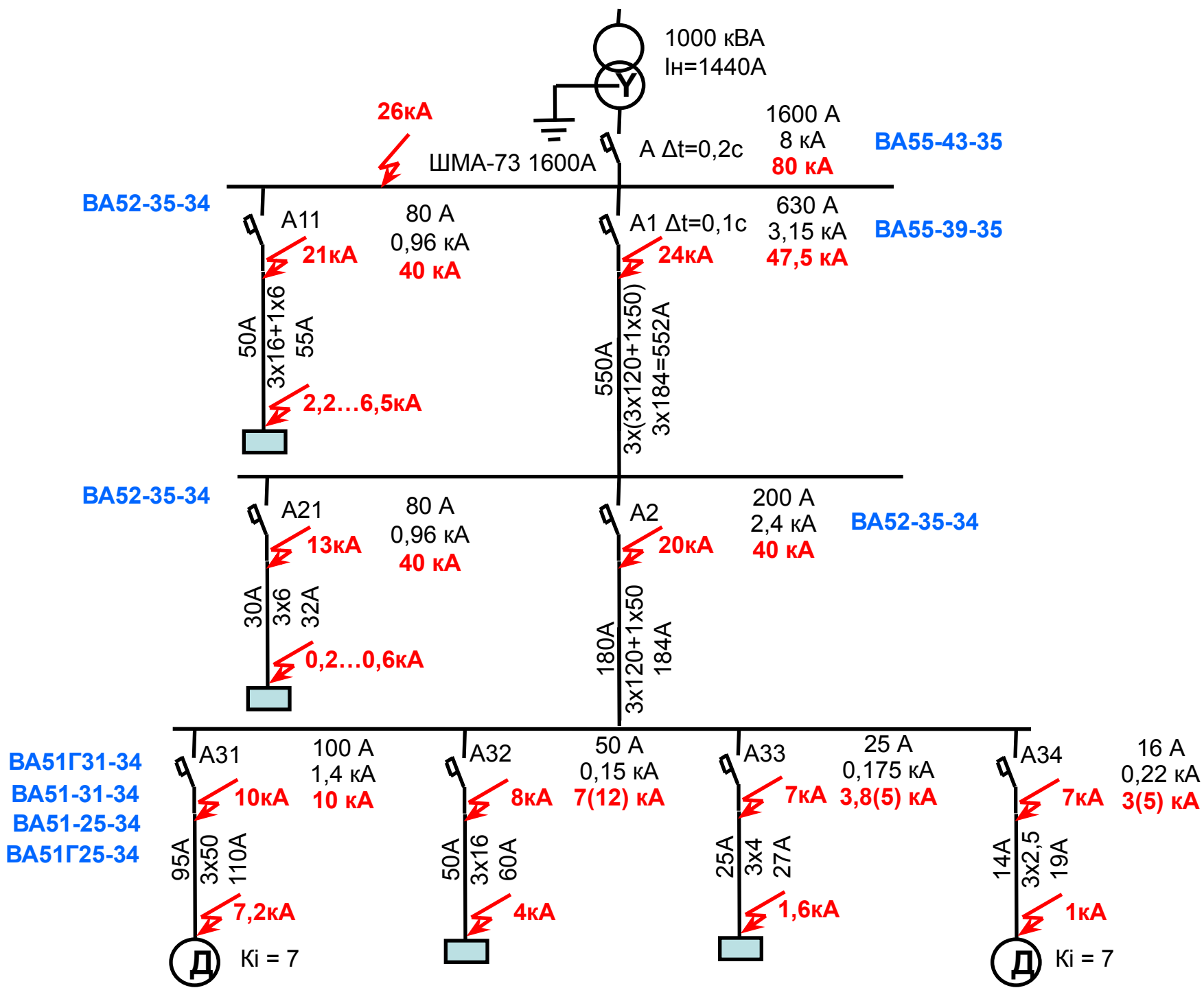


Чувствительность

3.1.9. В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки согласно 3.1.10), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, **допускается не выполнять расчетной проверки** приведенной в 7.3.139 кратности тока КЗ, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

- 300% для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- 450% для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);
- **100%** для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);
- 125% для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка, то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

Наличие аппаратов защиты с завышенными уставками тока не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх указанных в гл. 1.3.



К таким аппаратам относятся все АВ кроме А и А1.

$$\mathbf{A11: K = 80 / 55 = 1,45 > 1}$$

$$\mathbf{A2: K = 200 / 184 = 1,09 > 1}$$

$$\mathbf{A21: K = 80 / 32 = 2,5 > 1}$$

Для А11, А2, А21 требуется дальнейшая проверка.

$$\mathbf{A31: K = 100 / 110 = 0,91 < 1}$$

$$\mathbf{A32: K = 50 / 60 = 0,83 < 1}$$

$$\mathbf{A33: K = 25 / 27 = 0,93 < 1}$$

$$\mathbf{A34: K = 16 / 19 = 0,84 < 1}$$

A11: $I_{дд.треб} = 80 / 1 = 80 \text{ А}$
 $s = 3 \times 16 + 1 \times 6 \text{ мм}^2$

**Требуется проверка по
минимальному току КЗ**

A21: $I_{дд.треб} = 80 / 1 = 80 \text{ А}$
 $s = 3 \times 6 \text{ мм}^2$

**Требуется проверка по
минимальному току КЗ**

A2: $I_{дд.треб} = 200 / 1 = 200 \text{ А}$
 $s = 3 \times 120 + 1 \times 150 \text{ мм}^2$

S, мм ²	3- жильные	4- жильные
6	32	29
10	42	39
16	60	55
25	75	69
35	90	83
50	110	101
70	140	129
95	170	156
120	200	184
150	235	216
185	270	248

$$A11: K_{\text{ч}} = 2200 / 80 = \mathbf{27,5 > 3}$$

$$A21: K_{\text{ч}} = 200 / 80 = \mathbf{2,5 < 3}$$

Повышаем сечение на ступень:

$$6 \text{ мм}^2 \rightarrow 10 \text{ мм}^2$$

$$I_{\text{кз}} = 200 \text{ А} \rightarrow I_{\text{кз}} = 330 \text{ А}$$

$$K_{\text{ч}} = 330 / 80 = \mathbf{4,13 > 3}$$

Чувствительность

3.1.9. В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки согласно 3.1.10), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, **допускается не выполнять расчетной проверки** приведенной в 7.3.139 кратности тока КЗ, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

- 300% для номинального тока плавкой вставки предохранителя;
- 450% для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);
- 100% для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);
- **125%** для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка, то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

Наличие аппаратов защиты с завышенными уставками тока не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх указанных в гл. 1.3.

К таким аппаратам относятся А и А1.

$$\mathbf{A:} K = 1600 \cdot 1,25 / 1600 = \mathbf{1,25 = 1,25}$$

$$\mathbf{A1:} K = 630 \cdot 1,25 / 552 = \mathbf{1,43 > 1,25}$$

Для А1 требуется дальнейшая проверка.

A1: $I_{\text{дд.треб}} = 630 \cdot 1,25 / 1,25 = 630 \text{ A}$

$$s = 3 \times (3 \times 120 + 1 \times 50) \text{ мм}^2$$

$$630 / 3 = 210 \text{ A}$$



S, мм ²	4- ЖИЛЬНЫЕ
95	156
120	184
150	216
185	248

Чувствительность защиты

- проверяется по КЗ в конце кабельной линии;
- проверяется по 1-фазному дуговому КЗ;
- **сильно зависит от параметров кабеля**

Кабели 0,4 кВ

Аббревиатуры кабелей с бумажной изоляцией

1		Изоляция	Пропитана вязким составом
	Ц		Пропитана нестекающим составом
2		Жила	Медь
	А		Алюминий
3	С	Оболочка	Свинец
	А		Алюминий
4	Б	Защитный покров	Подушка, броня из стальных лент, наружный покров
	н		Подушка, броня из стальных лент, негорючий наружный покров
	л(2л)		В подушке имеются полиэтиленовые ленты, упрочняющие подушку и защищающие от коррозии свинцовую оболочку
	в(п)		В подушке имеется шланг из ПВХ (ПЭ)
	Шв(Шп)		Наружный шланг из ПВХ (ПЭ)
	У		Усиленное исполнение
	К		Броня из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых наложен антикоррозионный покров
	О		Отдельные металлические оболочки поверх каждой фазы
	П		Броня из оцинкованных плоских проволок, поверх которых наложен антикоррозионный покров
	Г		Без наружного покрова

Аббревиатуры кабелей с пластмассовой изоляцией

1		Жила	Медь
	А		Алюминий
2		Назначение	Силовой
	К		Контрольный
3	В	Изоляция	ПВХ пластикат
	П		Полимерная композиция (или полиэтилен)
	Пс		Самозатухающий полиэтилен
	Пв		Вулканизированный полиэтилен
	По		Облученный полиэтилен
4	О	Наружная оболочка	Отдельная экранированная оболочка у каждой фазы
	В		Оболочка из ПВХ пластиката
	ВГз		Заполнение – ПВХ пластикат или резина
	П		Полимерная композиция
	Б		Броня из двух стальных лент
	Бб		Броня из стальных оцинкованных лент
	Шв(У)		Защитный шланг из ПВХ пластиката (У – усиленное исполнение)
	Шп		Защитный шланг из полиэтилена
	Г		Без наружного покрова
5	Э	Экран	Общий экран – алюминиевая или медная фольга

Кабели нового поколения с улучшенными показателями пожарной безопасности

Наименование показателя	Обозначение в марках кабелей
1. Нераспространение горения	“НГ”
2. Дымо- и газовыделение при горении и тлении	“НГ-LS” (low-smoke)
3. Коррозионная активность галогенсодержащих продуктов дымо- и газовыделения	“НГ-HF” (halogen free)
4. Огнестойкость	“НГ-FR” (fire resistance)

Области применения пожаробезопасных кабелей (утверждены в НТД)

нг-LS	нг-HF	нг-FR-HF
1. АЭС: системы нормальной эксплуатации, системы безопасности, расположенные вне гермозоны	АЭС: системы внутри гермозоны	АЭС: системы безопасности
2. Метрополитены		
3. Жилые и общественные здания		

Области применения пожаробезопасных кабелей (рекомендованы, но не утверждены в НТД)

нг-НГ	нг-FR-НГ
<p>1. Общественные, культурные и спортивные сооружения</p> <p>2. Детские сады, школы</p>	<p>1. Пожарная сигнализация</p> <p>2. Пожарные насосы</p> <p>3. Аварийное освещение</p> <p>4. Установки дымоудаления</p> <p>5. Внутренняя радиосеть</p> <p>6. Пассажирские и пожарные лифты</p> <p>7. Вентиляторы запасных выходов</p> <p>8. Электроустановки в больницах, операционных.</p>

Расчет нагрева кабелей

- Назначение расчета нагрева кабелей
- Уравнение теплового баланса.
- Понятие теплового импульса.
- Способы расчета температуры нагрева жил кабелей при КЗ.

$$I^2 R dt = c m d\theta - K S \frac{d\theta}{dl} dt$$

Требования к кабелям

□ **Термическая стойкость (ТС)** – когда отсутствуют:

- приваривание конструктивных элементов друг к другу;
- оплавление битума;
- образованием складок на оболочке;
- сваривание ПВХ-лент;
- прорывы алюминиевой оболочки;
- трещины в корпусе

□ **Невозгораемость (НВ)** – когда отсутствуют:

- возгорание изоляции
- выделение дыма

Последствия нарушения НВ

- Возникновение очагов горения по всей длине кабеля
- Возгорание соседних неповрежденных кабелей
- Распространение пожара на другие помещения или установки

Каковы допустимые температуры по условиям ТС и НВ?

1983-1987 гг., ВНИИКП и НИЦ ВВА - стендовые испытания кабелей с алюминиевыми жилами, с пропитанной бумажной изоляцией в алюминиевой оболочке на напряжение 6 кВ сечением 95 мм².

Вывод:

ТС нарушается при 200-300°С

НВ нарушается при 310-400°С

Допустимые температуры нагрева кабелей при КЗ по условиям ТС и НВ

Тип кабеля	ТС (допустима эксплуатация в течение 1 года)	ТС (эксплуатация недопустима, требуется замена)	НВ
Бронированный с пропитанной бумажной изоляцией	200	300	400
Небронированный с пропитанной бумажной изоляцией	200	300	350
С пластмассовой, ПВХ и резиновой изоляцией	160	250	350
С изоляцией из вулканизированного полиэтилена	250	300	400

Критерии выбора кабелей

- Номинальное напряжение
- Экономическая плотность тока ($S \geq I / j_{\text{ЭК}}$)
- Длительно допустимый ток ($I \leq I_{\text{дд}}$)
- Падение напряжения в нормальном режиме ($\Delta U \leq \Delta U_{\text{дон}}$)
- Падение напряжения при пуске АЭД ($\Delta U \leq 20-30\%$)
- Термическая стойкость
- Невозгораемость

Проверке по экономической плотности тока не подлежат:

- 1) кабели промышленных предприятий при **$T_{\max} < 5000$ ч**;
- 2) ответвления к **отдельным** эл.приёмникам;
- 3) **осветительные** сети промышленных предприятий, жилых и общественных зданий;
- 4) кабели **временных** сооружений со сроком службы 3-5 лет.

Экономическая плотность тока,

$$j_{\text{ЭК}}, \text{ А/мм}^2$$

Кабели	Медь	Алюминий
с бумажной изоляцией	2	1,2
с резиновой и пластмассовой изоляцией	2,7	1,6

$$S \geq I / j_{\text{ЭК}}$$

Длительно допустимый ток $I_{\text{до}}$ для **медных** кабелей,
прокладываемых в воздухе, А

S, мм ²	одножильные	двухжильные	трехжильные четырёхжильные
1,5	23	19	19
2,5	30	27	25
4	41	38	35
6	50	50	42
10	80	70	55
16	100	90	75
25	140	115	95
35	170	140	120
50	215	175	145
70	270	215	180
95	325	260	220
120	385	300	260
150	440	350	305
185	510	405	350

Длительно допустимый ток $I_{\text{до}}$ для **алюминиевых** кабелей,
 прокладываемых в воздухе, А

S, мм ²	одножильные	двухжильные	трехжильные	четырёхжильные
2,5	23	21	19	17
4	31	29	27	25
6	38	38	32	29
10	60	55	42	39
16	75	70	60	55
25	105	90	75	69
35	130	105	90	83
50	165	135	110	101
70	210	165	140	129
95	250	200	170	156
120	295	230	200	184
150	340	270	235	216
185	390	310	270	248

Расчет падения напряжения в кабеле

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l_{\text{каб}} \cdot (r_{\text{уд}} \cdot \cos\varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin\varphi)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = 2...10 \%$$

Пример:

$$U_{\text{НОМ.ДВ}} = 380 \text{ В}$$

на шинах должно быть $1,05 \cdot U_{\text{НОМ.ДВ}} = 400 \text{ В}$

на статоре двигателя допускается:

$$U_{\text{МИН.ДВ}} = 0,95 \cdot U_{\text{НОМ.ДВ}} = 361 \text{ В (итого 10\%)}$$

Методика проверки кабелей на ТС и НВ

Циркуляр №Ц-02-98(Э) (РАО “ЕЭС России”, СПО ОРГРЭС, 1998)
«О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания»

1. Выбор расчетной точки, вида и продолжительности КЗ
2. Расчет теплового импульса
3. Расчет конечной температуры нагрева жил кабеля и сравнение с допустимой температурой по условиям ТС и НВ
4. Сравнение с допустимой температурой

Особенности проверки кабелей на ТС

1. Сценарий аварии:
 - произошло КЗ в начале кабеля присоединения,
 - сработала основная защита присоединения,
 - отключился выключатель присоединения
2. Продолжительность КЗ:
 $t = t_{рз.осн} + t_{ов} = (0,04...0,13) \text{ с}$
3. $\Theta_{доп} = 200...300^{\circ}\text{C}$

Особенности проверки кабелей на НВ

1. Сценарий аварии:

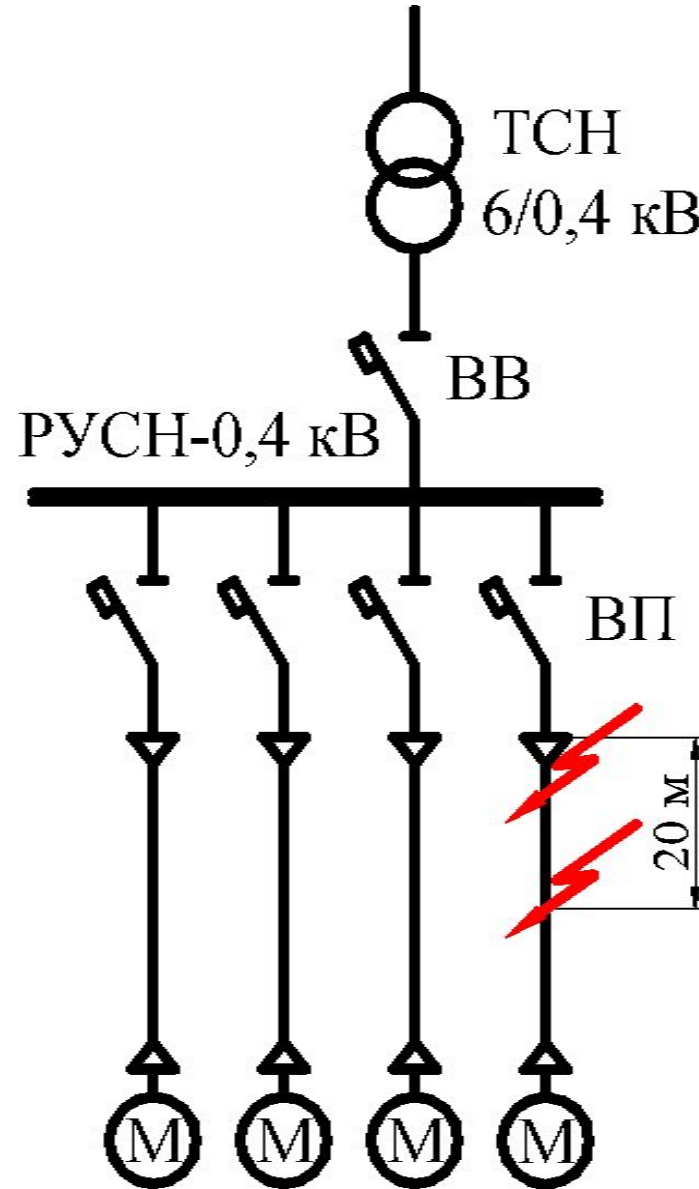
- произошло КЗ в начале (или за отрезком 20-50 метров) кабеля присоединения,
- либо не сработала основная защита присоединения, либо не отключился выключатель присоединения
- отключился выключатель ввода на секцию от ТСН

2. Продолжительность КЗ:

$$t = t_{\text{рз.рез}} + t_{\text{ов}} = (0,4 \dots 0,6) \text{ с}$$

3. $\Theta_{\text{доп}} = 310 \dots 400^\circ\text{C}$

Расчетная схема при проверке кабелей на ТС и НВ



Расчет конечной температуры нагрева жил кабеля

$$\Theta_n = \Theta_0 + (\Theta_{\text{д.д}} - \Theta_{\text{окр}}) \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{д.д}}} \right)^2$$

пропитанная бумажная изоляция: $\Theta_{\text{д.д}} = 80^\circ\text{C}$

пластмассовая изоляция: $\Theta_{\text{д.д}} = 70^\circ\text{C}$

изоляция из вулканизированного п/э: $\Theta_{\text{д.д}} = 90^\circ\text{C}$

$b = 19,58$ для меди

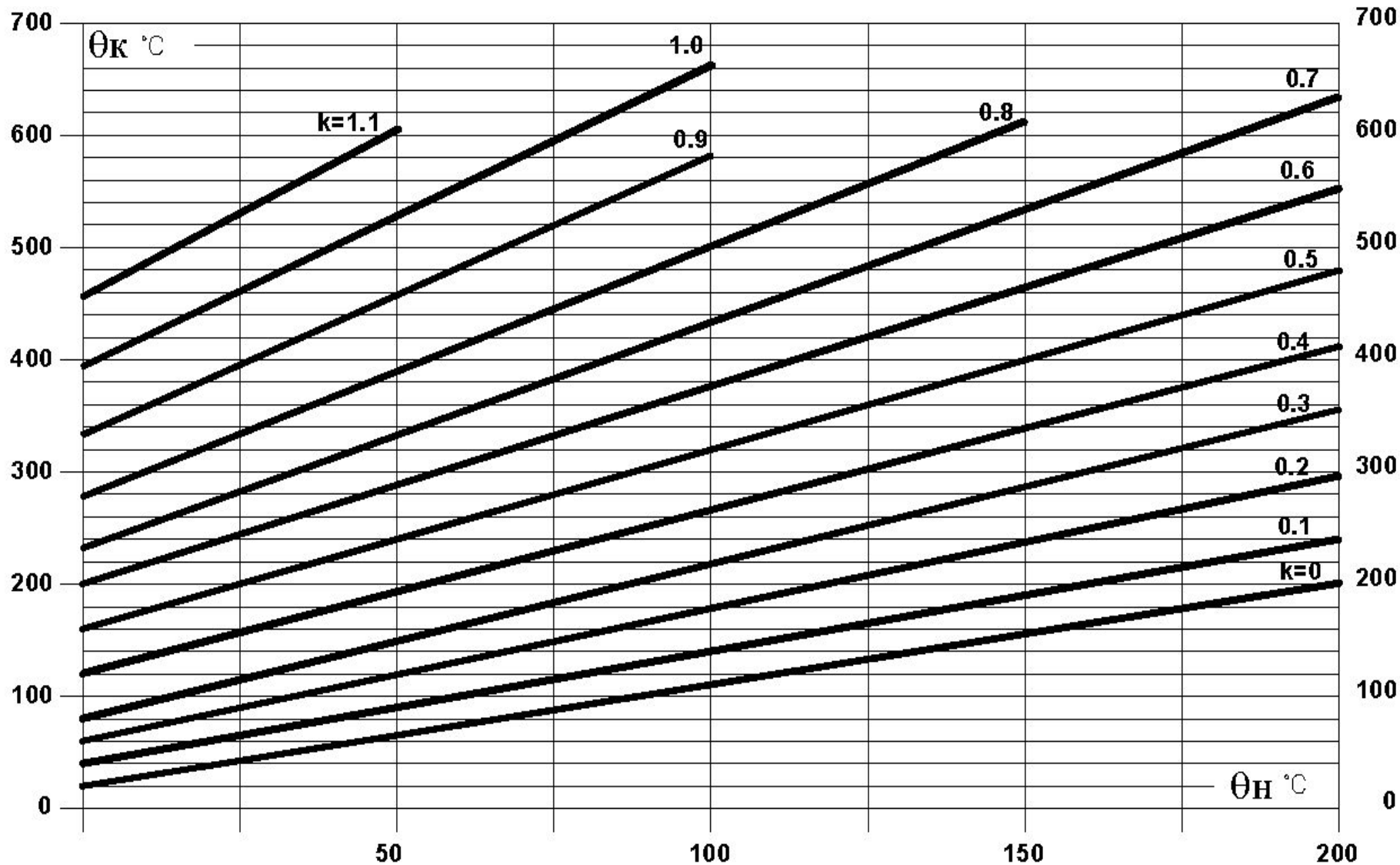
$b = 45,65$ для алюминия

$$k = \frac{b \cdot B_{\text{тер}}}{S^2}$$

$$B = I_{\text{нос}}^2 (t_{\text{откл}} + 0,02) + (0,3 I_{\text{нос}} \cdot I_{\text{по АД}} + 0,1 I_{\text{по АД}}^2) \cdot t_{\text{откл}}$$

$$\Theta_k = \Theta_n \cdot e^k + a \cdot (e^k - 1)$$

Номограмма для определения температуры кабеля при КЗ



Недостатки циркуляра №Ц-02-98(Э) и противоречия с ПУЭ

1. Циркуляр требует выбирать кабели по термической стойкости и невозгораемости, а ПУЭ – только по термической стойкости.
2. В ПУЭ ничего не говорится о проверке кабелей до 1 кВ по термической стойкости и невозгораемости.
3. Кабельные линии из 2-х и более параллельных пучков циркуляр рекомендует проверять на нагрев при КЗ в начале кабельной линии, а ПУЭ – в конце, где токи и тепловой импульс значительно ниже.
4. В циркуляре приведены значения длительно допустимых токов для кабелей разного исполнения. Эти данные отличаются от аналогичных таблиц ПУЭ.
5. После выхода циркуляра появились «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования». Во введении сказано, что эти Руководящие указания согласованы с действующими ГОСТ и ПУЭ, но нет упоминания о циркуляре.
6. В Циркуляре отсутствуют данные по кабелям с повышенной пожарной безопасностью (нг, нг-LS, нг-HF, нг-FR).

Пути решения проблемы дальнего резервирования

1. Схемные решения.

- 1.1. Сооружение добавочных вторичных сборок с дополнительными АВ.
- 1.2. Секционирование распределительного щита.
- 1.3. Последовательное включение двух защитных аппаратов.

2. Аппаратные решения.

- 2.1. Применение резервной релейной защиты, реагирующей на токи в присоединениях.
- 2.2. Применение выносной защиты от многофазных КЗ.
- 2.3. Применение предохранителей с защитой от неполнофазного режима.
- 2.4. Применение логической селективности.
- 2.5. Совершенствование характеристик АВ, снижение уставок селективности.
- 2.6. Проектирование и производство микропроцессорных защит 0,4 кВ.
- 2.7. Применение устройства защитного отключения (УЗО).
- 2.8. Применение «силовой» функции АВ

3. Методические решения.

- 3.1. Совершенствование методик расчета токов КЗ.
- 3.2. Совершенствование методик расчета температур нагрева жил кабелей.
- 3.3. Создание общей методики расчета электротеплового процесса с учетом всех факторов, присущих сетям 0,4 кВ.
- 3.4. Создание общего алгоритма выбора коммутационной аппаратуры и токоведущих частей.

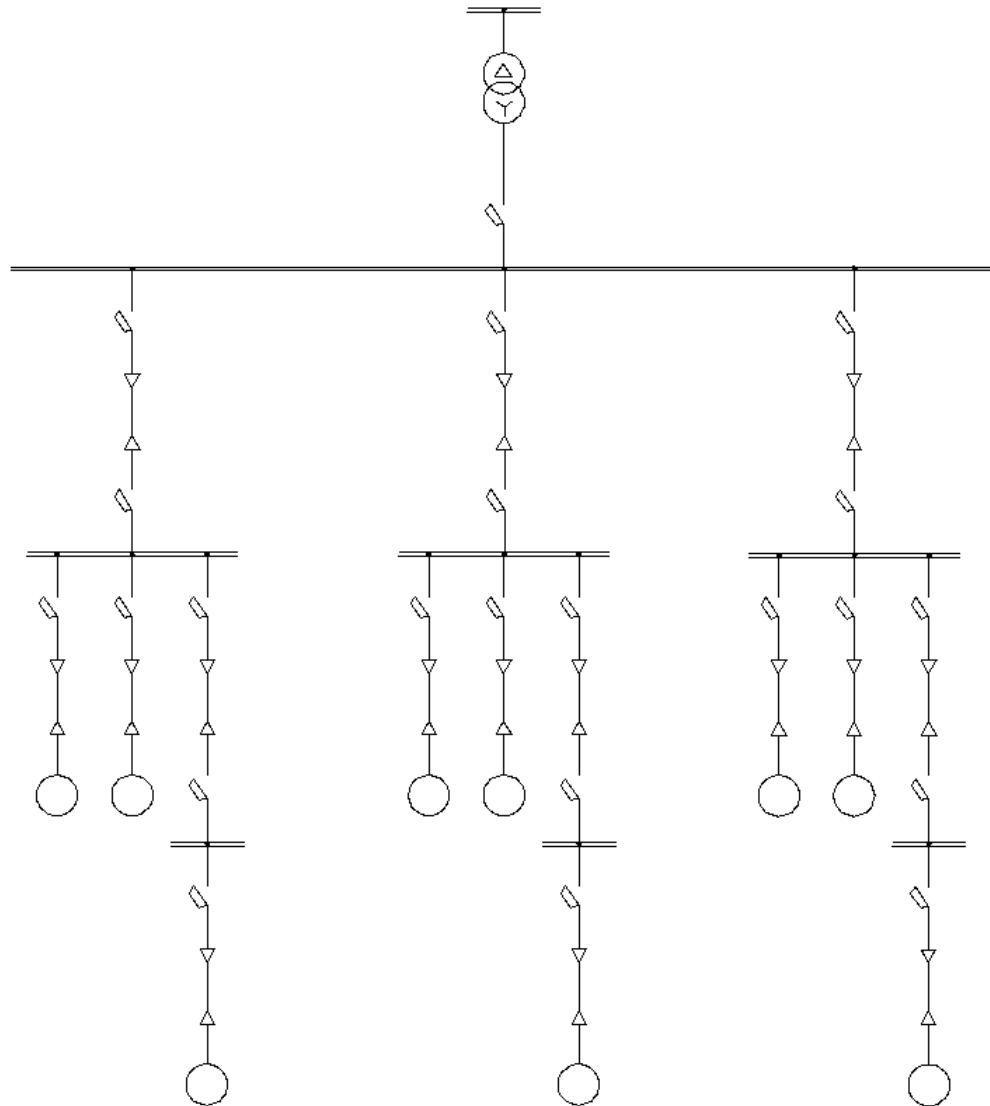
4. Нормативные решения.

- 4.1. Уточнение требований выбора и настройки защит.
- 4.2. Уточнение требований выбора кабелей по термической и пожарной стойкости.
- 4.3. Создание четкой иерархии нормативных актов.
- 4.4. Переработка ПУЭ в части требований проверки кабелей на нагрев с учетом чувствительности защит и требований по электробезопасности.

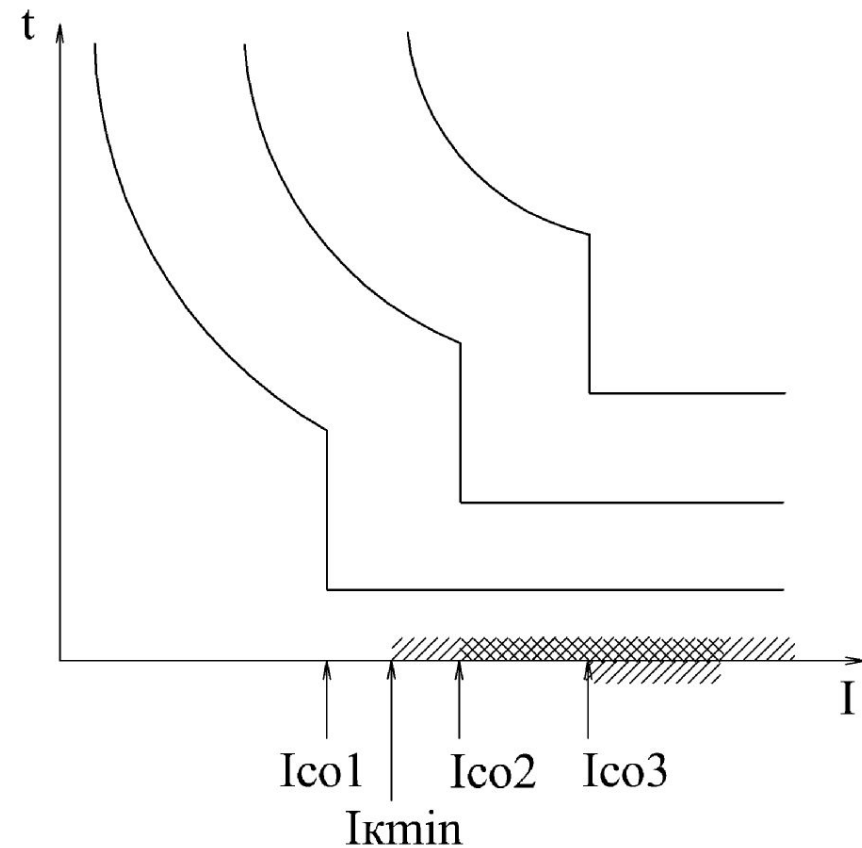
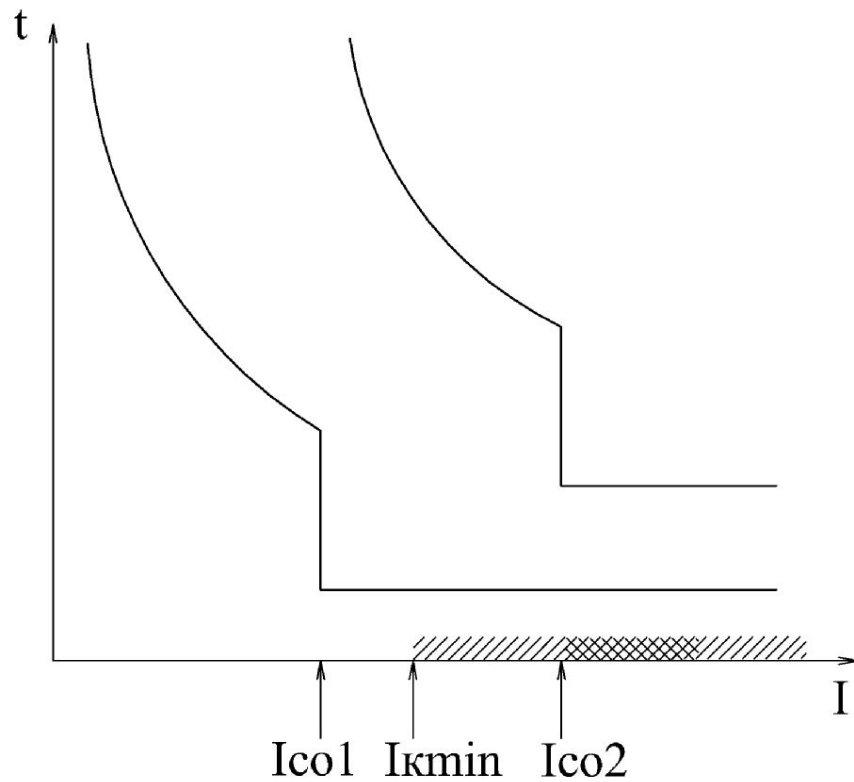
1. Схемные решения.

- 1.1. Сооружение добавочных вторичных сборок с дополнительными АВ.
- 1.2. Секционирование распределительного щита.
- 1.3. Последовательное включение двух защитных аппаратов.

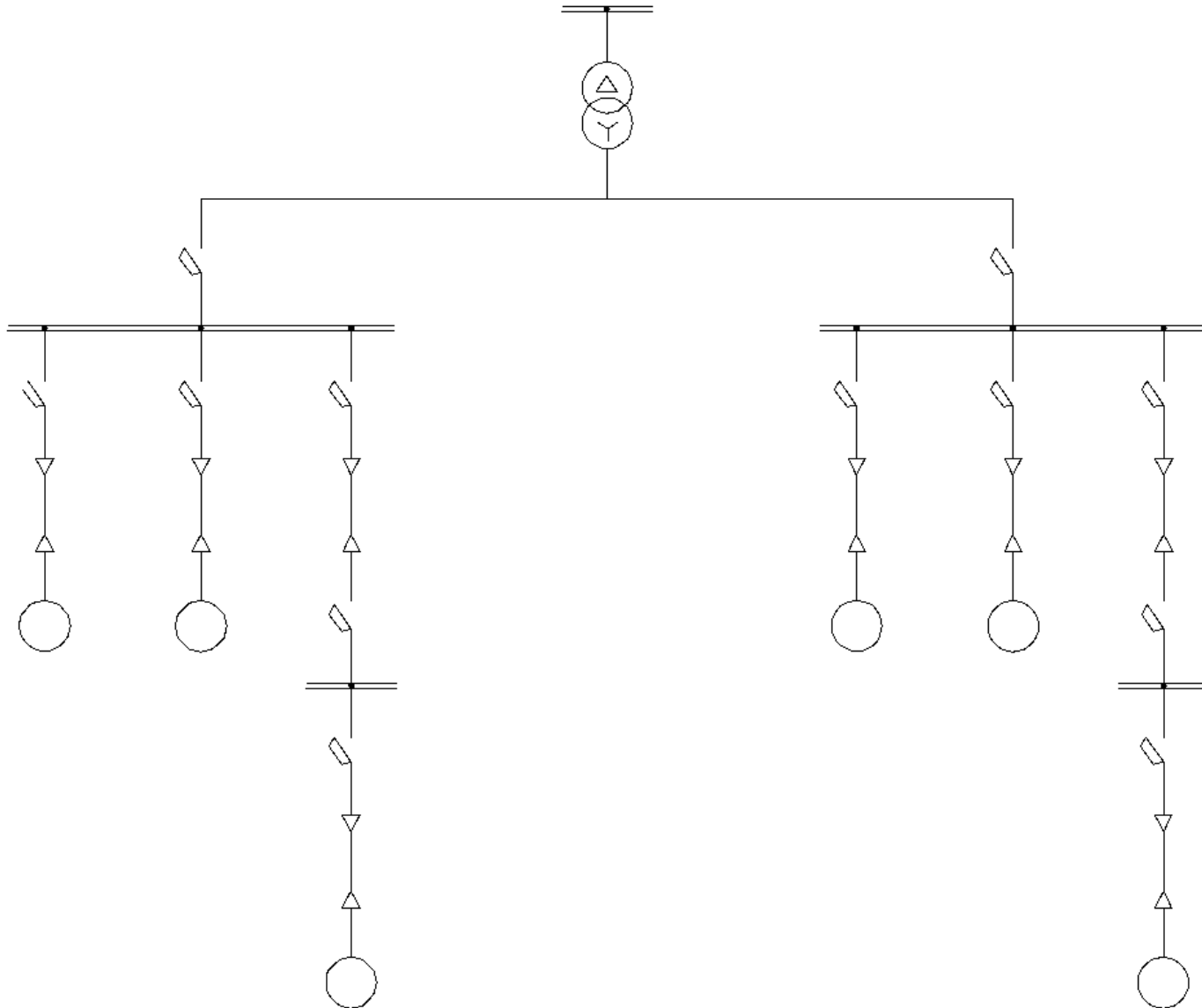
1.1. Сооружение добавочных вторичных сборок с дополнительными АВ



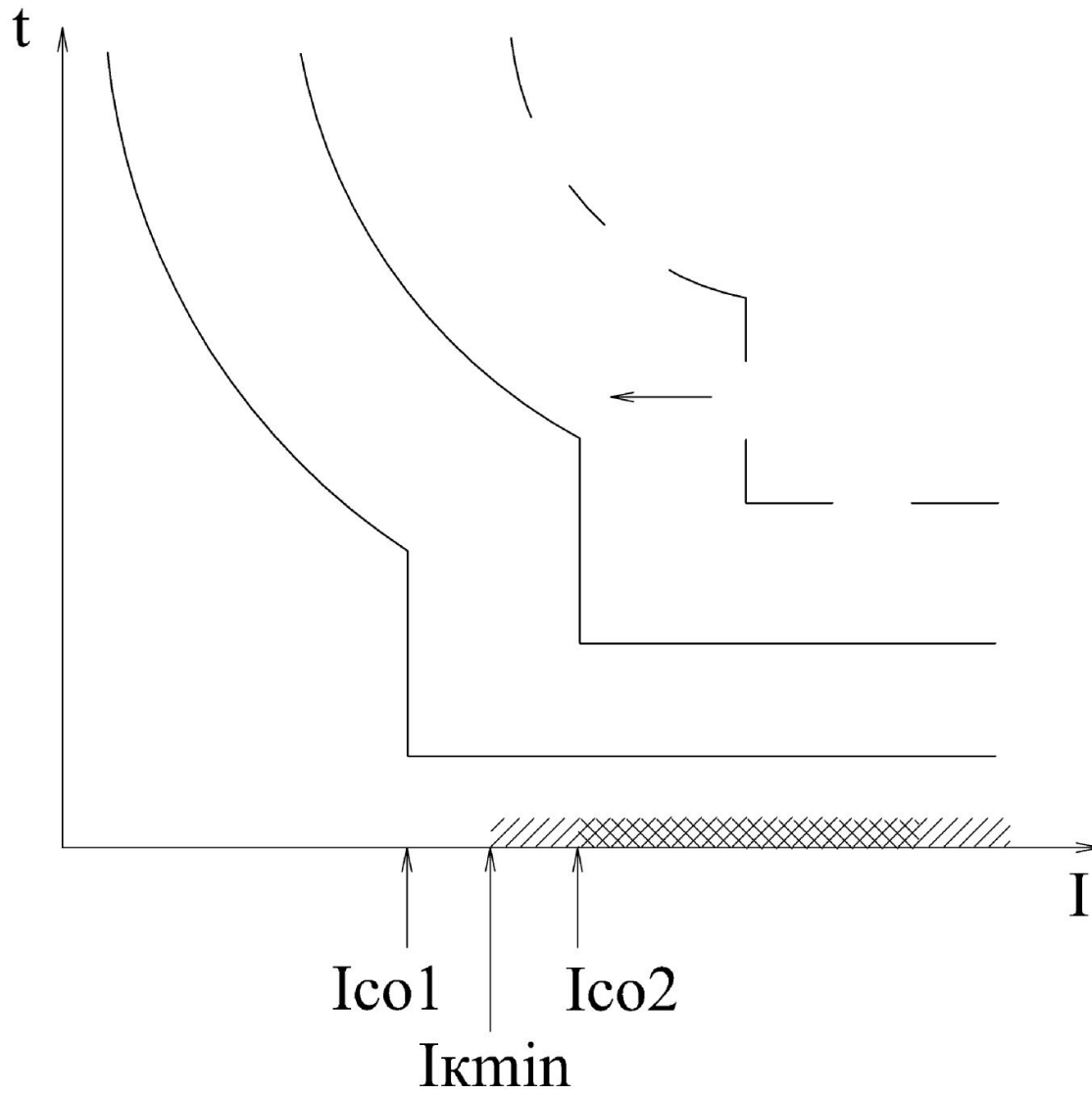
1.1. Сооружение добавочных вторичных сборок с дополнительными АВ



1.2. Секционирование распределительного щита



1.2. Секционирование распределительного щита



1.3. Последовательное включение двух защитных аппаратов

- Надежное ближнее резервирование.
- «АВ+АВ»; «АВ+предохранитель».
- Повышенные капитальные затраты.
- При использовании предохранителей можно снизить требования по отключающей способности АВ, что в некоторой степени компенсирует расходы на второй защитный аппарат.

2. Аппаратные решения.

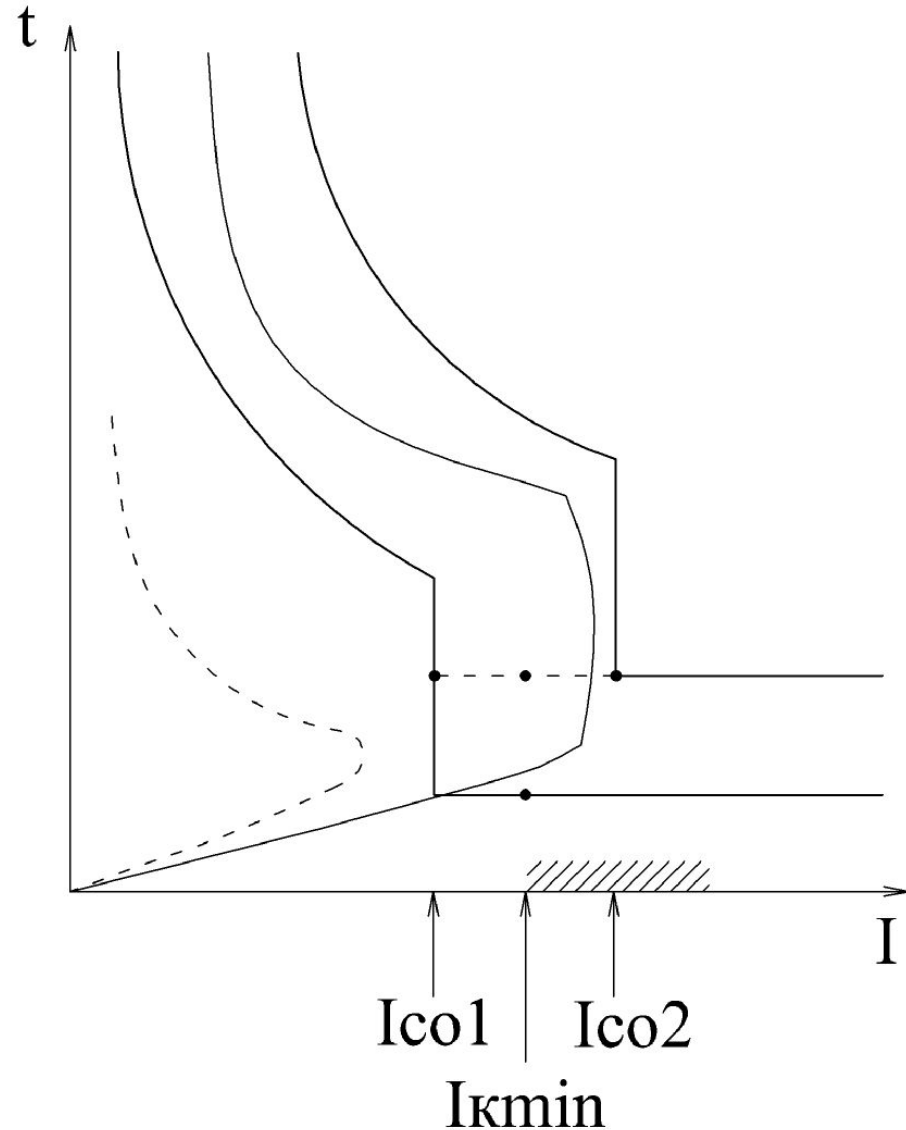
- 2.1. Применение резервной релейной защиты, реагирующей на токи в присоединениях.
- 2.2. Применение выносной защиты от многофазных КЗ.
- 2.3. Применение предохранителей с защитой от неполнофазного режима.
- 2.4. Применение логической селективности.
- 2.5. Совершенствование характеристик АВ, снижение уставок селективности.
- 2.6. Проектирование и производство микропроцессорных защит 0,4 кВ.
- 2.7. Применение устройства защитного отключения (УЗО).
- 2.8. Применение «силовой» функции в АВ

2.1. Применение резервной релейной защиты, реагирующей на токи в присоединениях.

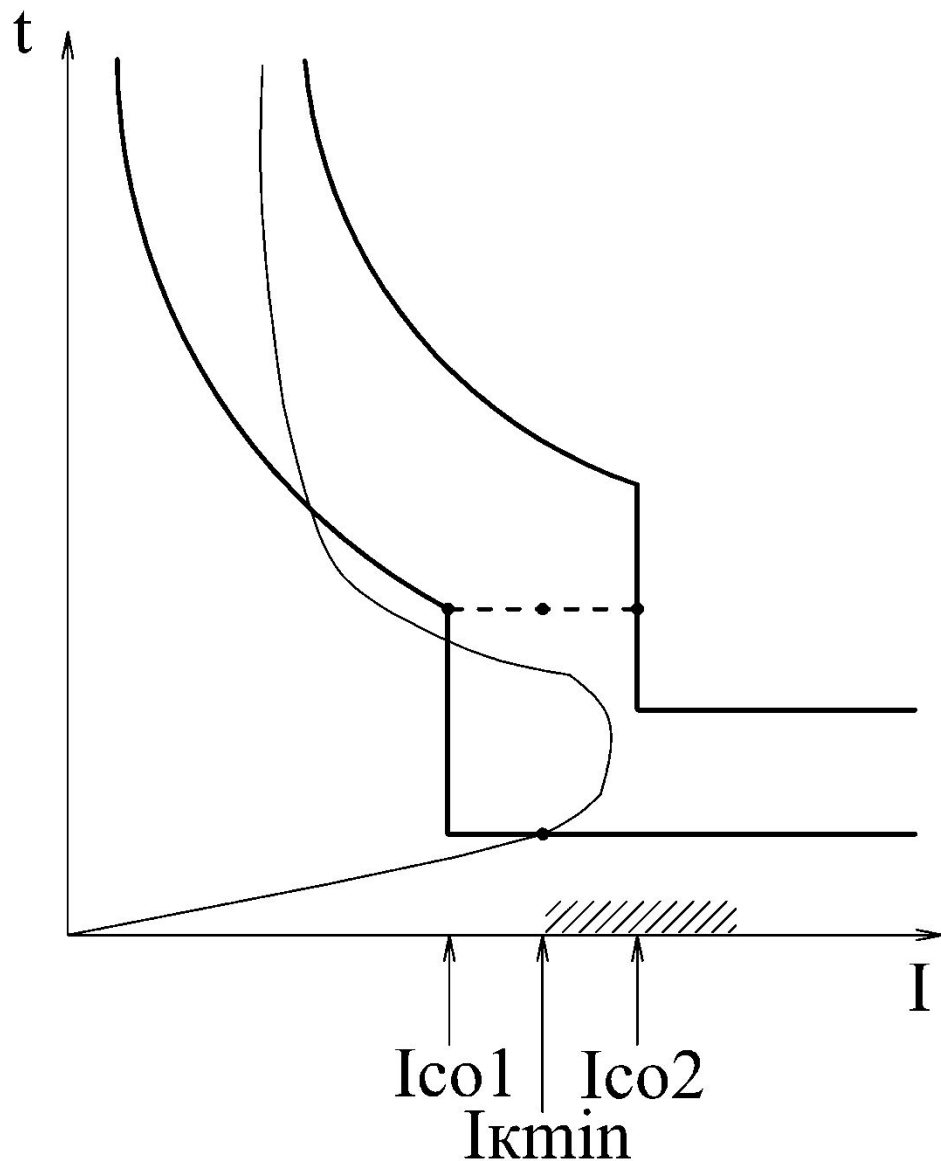


Селективность – за счёт отстройки времени срабатывания вводного АВ относительно АВ присоединения.

Уставка по току резервной защиты = уставке основной защиты



2.2. Применение выносной защиты от многофазных КЗ.



- Вводной АВ резервирует защиту только начальных участков кабелей, а для резервирования защиты от КЗ в конце кабельных линий используется выносная РЗ.
- Ток срабатывания выносной РЗ отстраивается только от нагрузки секции, а отстройка от пусковых токов осуществляется задержкой времени.
- При этом не решается проблема увеличения провалов напряжения и ухудшения условий самозапуска.

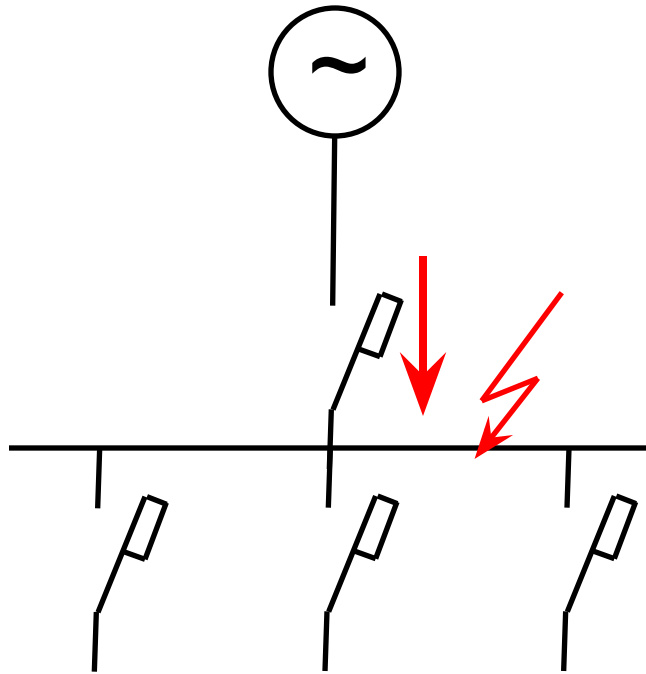
2.3. Применение предохранителей с защитой от неполнофазного режима

- Ближнее резервирование обеспечивается предохранителями.
- Применение предохранителей для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей не всегда приветствуется по условиям неполнофазного режима.
- КЗ отключается предохранителем, установленным в одной из фаз.
- Остальные два предохранителя продолжают проводить ток к статору двигателя, который продолжает работать, но уже в неполнофазном режиме, потребляя повышенные токи (1,8...2,5)I_{ном} и подвергаясь нерасчетным нагревам.
- Зарубежные фирмы-изготовители освоили выпуск предохранителей с контролем состояния соседних фаз – при перегорании плавкой вставки в фазе А, срабатывает специальный расцепитель, и устройство отключает фазы В и С.
- На отечественных энергообъектах такие устройства пока не прошли должного апробирования.

2.4. Применение логической селективности

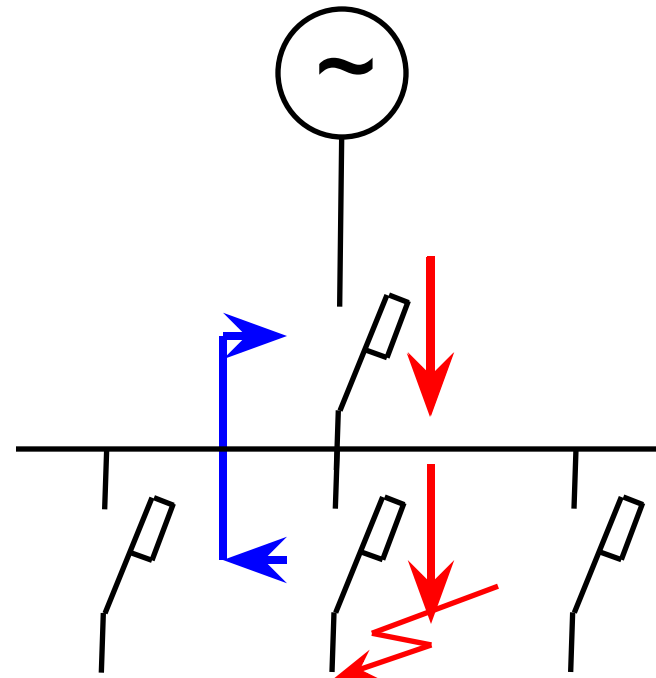
- Основана на обмене сигналами между АВ по специальному контрольному проводу.
- Если нижестоящий АВ чувствует КЗ, то он передает блокирующий сигнал вышестоящему АВ. Получив этот сигнал, вышестоящий АВ полностью отработывает свою выдержку времени и либо не срабатывает (обеспечивая селективность при успешном отключении нижестоящего АВ), либо отключается (обеспечивая дальнейшее резервирование при отказе нижестоящей защиты).
- Если сигнал о КЗ от нижестоящего АВ не поступает, то вышестоящий АВ отключается мгновенно, без учета выдержки времени своего расцепителя.
- Логическая селективность позволяет осуществить дальнейшее резервирование.
- Одновременно обеспечивается быстрое действие защиты.
- Недостатки:
 - усложнение электрических связей между АВ;
 - неэффективность для схем с мощными двигателями.

Логическая селективность



Нет блокирующего импульса.

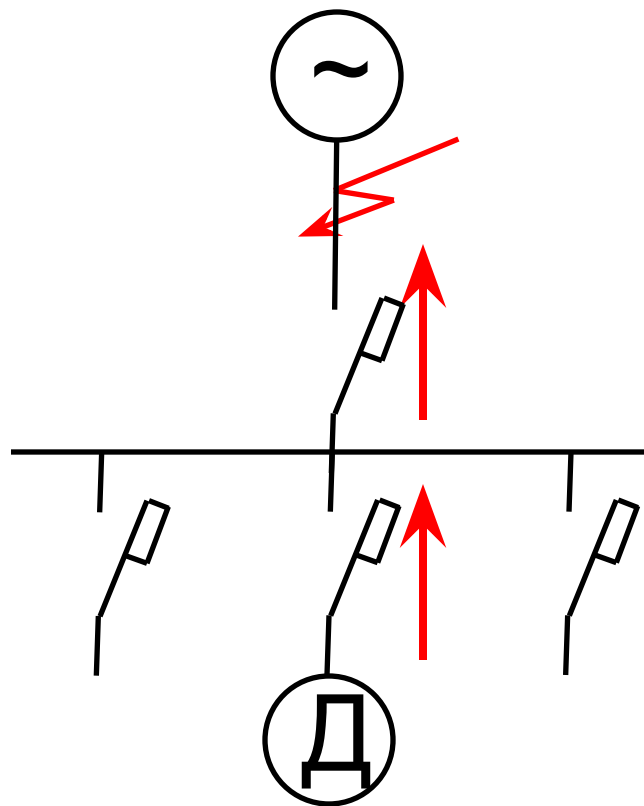
**Вводной АВ
срабатывает без
выдержки времени**



Есть блокирующий импульс.

**Вводной АВ
срабатывает с
выдержкой времени**

Неэффективность логической селективности для схем с мощными двигателями



**Нет блокирующего
импульса.**

**Вводной АВ ложно
срабатывает.**

2.5. Совершенствование характеристик АВ, снижение уставок селективности

- Снижение уставок селективности ограничено неточностью ВТХ расцепителей, а также большой дискретностью уставок по времени.
- Применение температурной компенсации позволит снизить температурный разброс точек ВТХ автомата.
- При этом упрощается селективная отстройка защит с одновременным повышением их быстродействия.
- Новые принципы гашения дуги и повышение отключающей способности автоматов.
- Высокая предельная коммутационная способность за счет быстрого введения в межконтактный промежуток электрической дуги, обладающей высоким сопротивлением.
- Принцип ротоактивного размыкания контактов.

2.6. Проектирование и производство микропроцессорных защит 0,4 кВ

- Современные МП терминалы защит 0,4 кВ, отличающие режимы пуска и самозапуска от удаленных КЗ.
- Например, блок БМРЗ-0,4 (НТЦ «Механотроника»), предназначенный для выполнения функций РЗиА, управления и сигнализации выключателей рабочих и аварийных вводов секций 0,4 кВ КТП 6(10)/0,4 кВ.
- Использование в блоке аналого-цифровой и микропроцессорной элементной базы обеспечивает высокую точность измерений и постоянство характеристик, что позволяет существенно повысить чувствительность и быстродействие защит, а также уменьшить степени селективности.

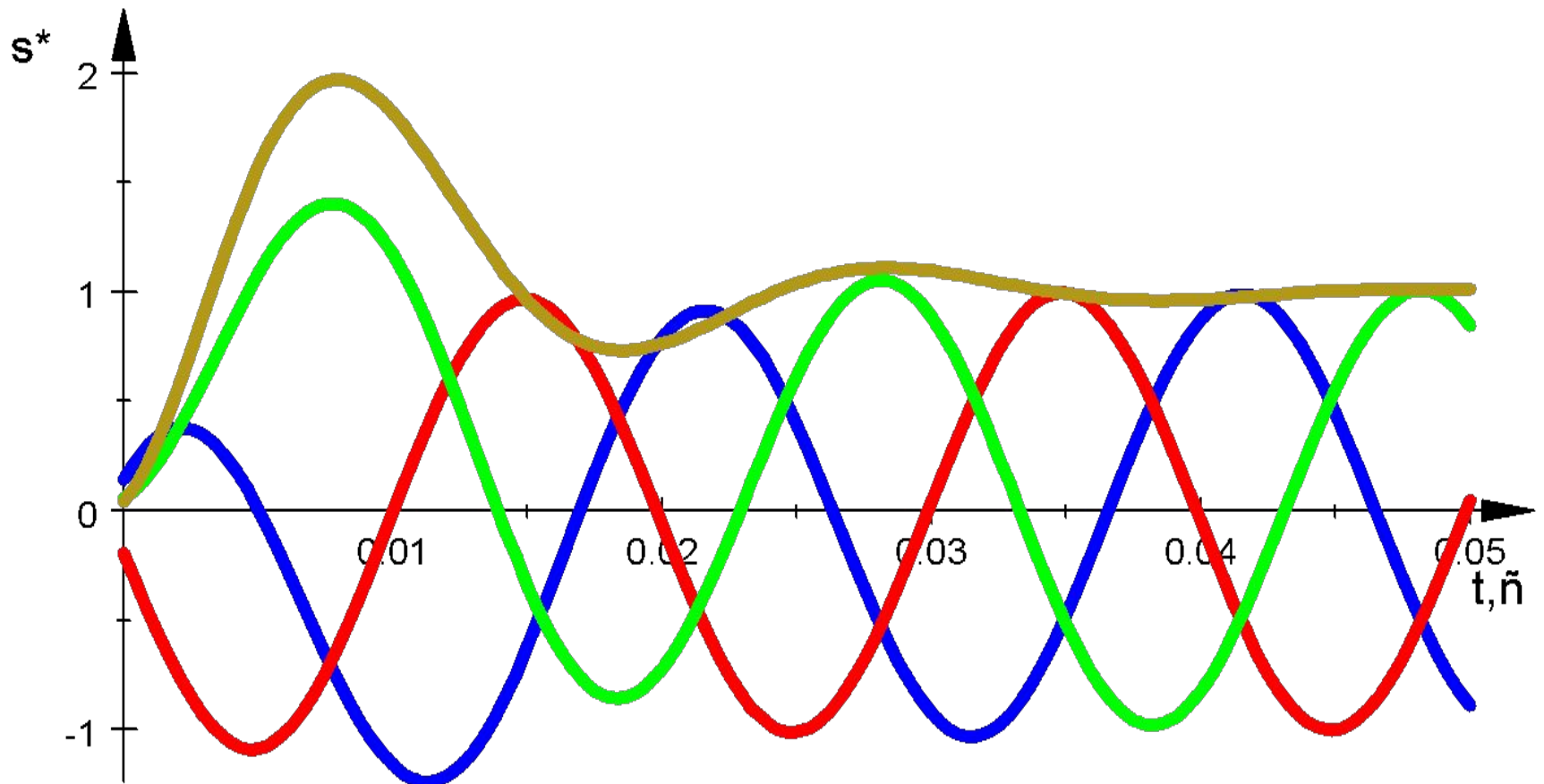
2.7. Применение УЗО

- Основная сложность в обеспечении дальнего резервирования – низкая чувствительность резервной защиты при малых токах КЗ (1-фазные дуговые КЗ в конце кабеля).
- До сих пор речь шла о способах обеспечения невозгораемости кабелей при уже возникшем КЗ. Ряд КЗ действительно являются внезапными. Но вместе с тем существуют ситуации, когда КЗ образуется в результате длительного предшествующего процесса ослабления изоляции, сопровождающегося малыми токами утечки.
- УЗО реагирует на такие утечки и отключает питание, не дожидаясь возникновения КЗ и тем более – возгорания кабеля.
- В случае внезапного КЗ или внезапной утечки, обусловленной контактом человека с токоведущей частью, УЗО также срабатывает.
- Время срабатывания УЗО 0,03...0,5 с.
- Следует учитывать особенности применения УЗО в различных системах заземления.

2.8. Применение «силовой» функции АВ

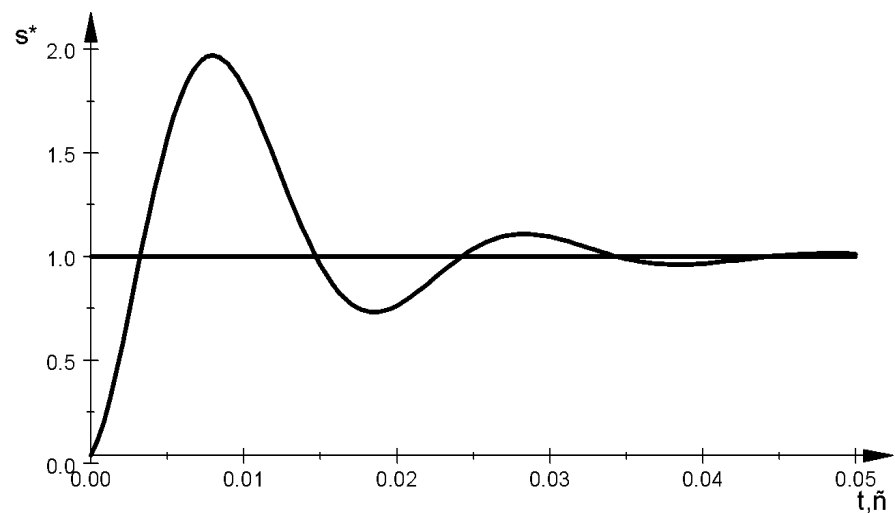
«Силовая» функция:

$$s(t) = i_a^2 + i_b^2 + i_c^2$$

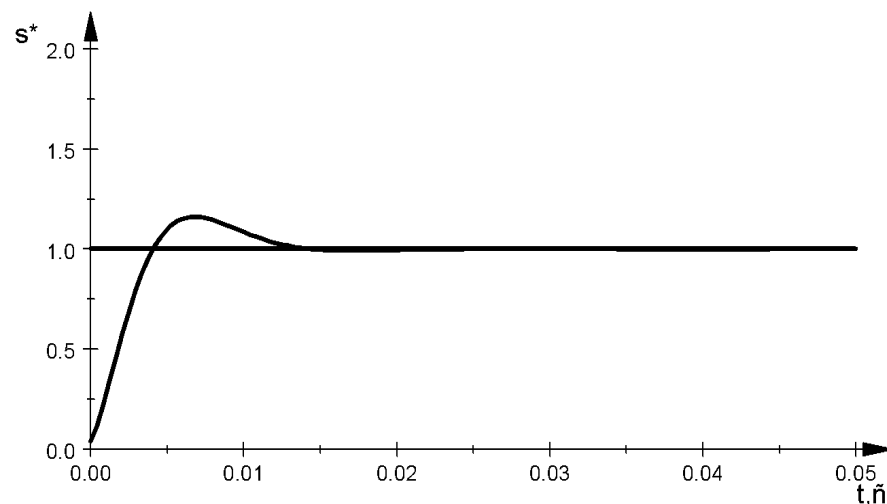


2.8. Применение «силовой» функции АВ

«Силовая» функция не зависит от начальной фазы переходного процесса

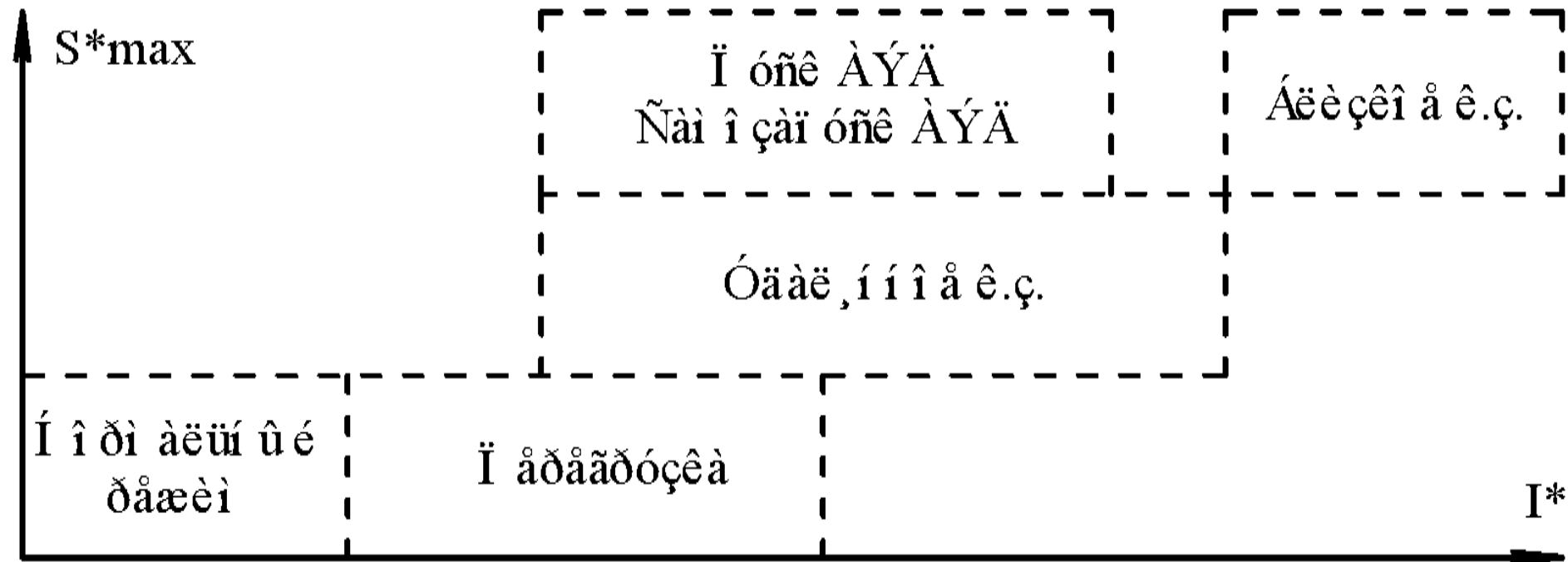


Пуск АЭД



Удаленное к.з.

2.8. Применение «силовой» функции АВ



3. Методические решения

- 3.1. Совершенствование методик расчета токов КЗ.
- 3.2. Совершенствование методик расчета температур нагрева жил кабелей.
- 3.3. Создание общей методики расчета электротеплового процесса с учетом всех факторов, присущих сетям 0,4 кВ.
- 3.4. Создание общего алгоритма выбора коммутационной аппаратуры и токоведущих частей.

4. Нормативные решения

- 4.1. Уточнение требований выбора и настройки защит.
- 4.2. Уточнение требований выбора кабелей по термической и пожарной стойкости.
- 4.3. Создание чёткой иерархии нормативных актов.
- 4.4. Переработка ПУЭ в части требований проверки кабелей на нагрев с учетом чувствительности защит и требований по электробезопасности.

Нормативно-техническая документация в части выбора электрооборудования до 1 кВ

- ГОСТ 28249-93. КЗ в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
- ГОСТ 28895-91. Расчет термически допустимых токов КЗ с учетом неадиабатического нагрева.
- ГОСТ 50345-99. АВ In < 125А; Icu < 25кА бытовые, необслуживаемые.
- ГОСТ 50030.1-2000. АВ, методы испытаний.
- ГОСТ 50030.2-99. АВ
- ГОСТ 11206-77. Контактторы электромагнитные низковольтные.
- Циркуляр №Ц-02-98(Э). О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания
- ПУЭ. Глава 1.4. Выбор электрических аппаратов и проводников по условию КЗ.
- ПУЭ. Глава 3.1. Защита электрических сетей напряжением до 1 кВ.
- РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. Под ред. Б. Н. Неклепаева и профессоров МЭИ.

Литература

- Смирнов А.Г., Годгельф Л.Б., Шилин В.Т. Пособие к главе 3.1 ПУЭ. – М. ВНИИ «Тяжпромэлектропроект» им. Ф. Б. Якубовского, 1991. – 51 с.
- Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 173 с.
- Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – СПб. : ПЭИПК, 2007. – 230 с.
- Райнин В.Е., Кобозев А.С. Совершенствование защитных характеристик автоматических выключателей низкого напряжения / журнал «Электротехника», 2009, №2, с.44-51.
- Гусев Ю.П., Чо Г.Ч. Снижение чувствительности защитных аппаратов в низковольтных электроустановках из-за шунтирующего эффекта асинхронных электродвигателей / Журнал «Вестник МЭИ», 2003, №6, с.131-135.
- Беспалов А.В., Борисова Е.С., Гусев О.Ю., Гусев Ю.П., Старшинов В.А. Защита низковольтных электроустановок собственных нужд электрических станции от короткого замыкания // Электрические станции. – М., 2005, №4
- Беляев А.В., Эдлин М.А. Дальнее резервирование отказов защит и выключателей // Электрические станции. – М., 2002, №12, с.51-55.
- Ароян Ш.О. О резервировании защит присоединений 0,4 кВ собственных нужд АЭС // Электрические станции. – М., 2007, №6.
- Зильберман В.А. Учет теплового спада тока КЗ при выполнении дальнего резервирования // Электрические станции. – М., 1989, №12, с.55-60.
- Морозов Н.Р. Резервирование защит сетей 0,4 кВ собственных нужд электростанций // Электрические станции. – М., 1987, №4, с.57-60.
- Фишман В.С. Провалы напряжения в сетях промпредприятий // Новости Электротехники, 2004, №№ 5,6.
- Фишман В.С. Короткое замыкание в электропроводке. Возможные причины пожара// Новости Электротехники, 2007, №1.
- Фишман В.С. Короткое замыкание: пожара можно избежать // Новости Электротехники, 2005, №2.