

**Техническое перевооружение системы безопасного розжига
газовых горелок парового котла ГМ-50-14/250 ст. № 3 Тюменской
ТЭЦ-2 филиала ОАО “ФОРТУМ”**

Расчет кабелей электропитания для панели АВР оборудования ПТК
72122884.4251005.092.АК01.РК

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

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист
1

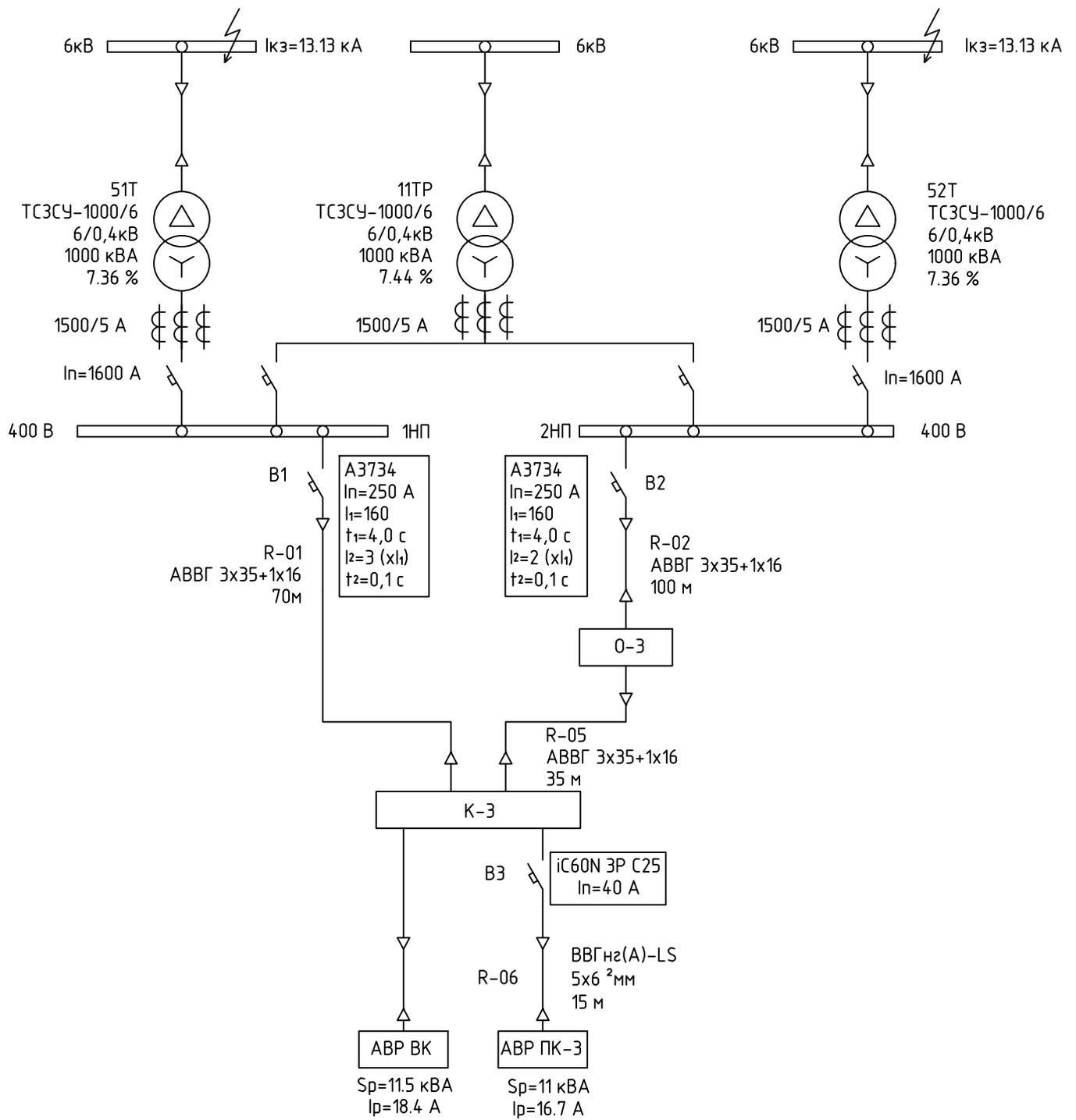


Рис. 1 Расчётная схема

Обозначение уставок защит автоматических выключателей:

- I_1 – уставка тока защиты от перегрузок;
- t_1 – уставка времени защиты от перегрузок;
- I_2 – уставка тока селективной токовой отсечки;
- t_2 – уставка времени селективной токовой отсечки;
- I_3 – уставка тока мгновенной токовой отсечки;

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

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист
2

Расчет токов короткого замыкания

Основные нормативно-технические документы, применяемые при расчетах:

- [1]. Правила устройства электроустановок (ПУЭ): Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7, 2010 г;
- [2]. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б.Н. Неклепаева, 2004 г;
- [3]. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. 1994 г;
- [4]. Расчёт токов короткого замыкания в сетях 0.4 кВ. Учебное пособие / И.Л.Небрат. — СПб., 2001г.

Расчет выполняется для проверки отключающей способности автоматических выключателей, проверки кабельных линий на термическую стойкость, а также для выбора уставок токовых катушек автоматических выключателей и проверки их чувствительности.

С этой целью выполняются расчеты металлических и дуговых КЗ - - трехфазных, двухфазных и однофазных.

Расчетная схема представлена на рис. 1.

Расчет выполняется в именованных единицах, сопротивления расчетной схемы приводятся к напряжению 0,4 кВ и выражаются в миллиомах. Расчеты выполняются в соответствии с методикой, рекомендованной ГОСТ 28249-93 [3] на расчеты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ.

Короткие замыкания рассчитываются на шинах 0,4 кВ 1НП (точка К1) и на вторичной силовой сборке К-3 за кабелем R-01 (точка К2).

Расчет дуговых КЗ выполняем с использованием снижающего коэффициента K_c , поэтому переходные сопротивления контактов, контактных соединений кабелей и шинопроводов в расчетных выражениях для определения суммарного активного сопротивления не учитываются, эти сопротивления учтены при построении характеристик зависимости коэффициента K_c от полного суммарного сопротивления до места КЗ, полученных экспериментальным путем. Характеристики K_c приведены в приложении 9, черт. 23 [3].

Исходные данные:

$$U_{\text{ср_вн}} = 6.3 \text{ кВ} \quad U_{\text{ср_нн}} = 0.4 \text{ кВ}$$

$$I_{\text{к_вн}} = 13.13 \text{ кА} \quad \text{- расчетный ток короткого замыкания в сети 6 кВ.}$$

Параметры расчётной схемы:

Сопротивление системы (п. 1.8 [3]):

$$X_c = \frac{U_{\text{ср_нн}}^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к_вн}} \cdot U_{\text{ср_вн}}} = \frac{0.4^2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 13.13 \cdot 6.3} = 1.117 \text{ мОм}$$

Сопротивление трансформатора:

$$U_{\text{ном.тр_вн}} = 6.3 \text{ кВ} \quad U_k = 7.36 \% \quad P_k = 8.8 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{ном.тр_нн}} = 0.4 \text{ кВ} \quad S_{\text{ном.тр}} = 1000 \text{ кВА}$$

$$R_{1\text{тр}} = \frac{P_k \cdot U_{\text{ном.тр_нн}}^2}{S_{\text{ном.тр}}^2} \cdot 10^6 = \frac{8.8 \cdot 0.4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1.41 \text{ мОм}$$

$$X_{1\text{тр}} := \sqrt{U_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_k}{S_{\text{ном.тр}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{ном.тр_нн}}^2}{S_{\text{ном.тр}}} \cdot 10^4 = \sqrt{7.36^2 - \left(\frac{100 \cdot 8.8}{1000} \right)^2} \cdot \frac{0.4^2}{1000} \cdot 10^4 \text{ мОм}$$

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности для трансформаторов со схемой соединения обмоток Д/Ун практически равны соответствующим параметрам прямой последовательности. С учётом приложения 1 [4] примем:

$$R_{2\text{тр}} = R_{1\text{тр}} \quad R_{0\text{тр}} = R_{1\text{тр}} \quad X_{2\text{тр}} = X_{1\text{тр}} \quad X_{0\text{тр}} = X_{1\text{тр}}$$

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

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист
3

Сопrotивление обмоток ТТ1 (1500/5) согласно приложению 5, табл.20 [3]:

$$r_{1\text{ТТ}_1} = 0.05 \text{ мОм} \quad x_{1\text{ТТ}_1} = 0.07 \text{ мОм}$$

$$r_{0\text{ТТ}_1} = r_{1\text{ТТ}_1} \quad x_{0\text{ТТ}_1} = x_{1\text{ТТ}_1}$$

Сопrotивление катушки автоматического выключателя В (1600А) согласно приложению 6, табл.21 [3]:

$$r_{1\text{КВ}_1} = 0.14 \text{ мОм} \quad x_{1\text{КВ}_1} = 0.08 \text{ мОм}$$

$$r_{0\text{КВ}_1} = r_{1\text{КВ}_1} \quad x_{0\text{КВ}_1} = x_{1\text{КВ}_1}$$

Сопrotивление катушки автоматического выключателя В1, В2 (160А):

$$r_{1\text{КВ}_2} = 1.1 \text{ мОм} \quad x_{1\text{КВ}_2} = 0.5 \text{ мОм}$$

$$r_{0\text{КВ}_2} = r_{1\text{КВ}_2} \quad x_{0\text{КВ}_2} = x_{1\text{КВ}_2}$$

Сопrotивление катушки автоматического выключателя В3 (25А):

$$r_{1\text{КВ}_3} = 0.73 \text{ мОм} \quad x_{1\text{КВ}_3} = 0.045 \text{ мОм}$$

$$r_{0\text{КВ}_3} = r_{1\text{КВ}_3} \quad x_{0\text{КВ}_3} = x_{1\text{КВ}_3}$$

Сопrotивление кабеля R-01 (АВВГ 3x35+1x16, 70 м) согласно приложению 2, табл.11 [3]:

$$r_{1\text{уд}_1} = 1.1 \text{ мОм/м} \quad x_{1\text{уд}_1} = 0.068 \text{ мОм/м} \quad l_{\text{кб}_1} = 70 \text{ м}$$

$$r_{0\text{уд}_1} = 2.97 \text{ мОм/м} \quad x_{0\text{уд}_1} = 1.241 \text{ мОм/м}$$

$$r_{1\text{кб}_1} = r_{1\text{уд}_1} \cdot l_{\text{кб}_1} = 77 \text{ мОм} \quad r_{0\text{кб}_1} := r_{0\text{уд}_1} \cdot l_{\text{кб}_1} = 208.0 \text{ мОм}$$

$$x_{1\text{кб}_1} := x_{1\text{уд}_1} \cdot l_{\text{кб}_1} = 4.76 \text{ мОм} \quad x_{0\text{кб}_1} := x_{0\text{уд}_1} \cdot l_{\text{кб}_1} = 86.9 \text{ мОм}$$

Сопrotивление кабеля R-02 и R-05 (АВВГ 3x35+1x16, 135 м):

$$r_{1\text{уд}_2} = 1.1 \text{ мОм/м} \quad x_{1\text{уд}_2} = 0.068 \text{ мОм/м} \quad l_{\text{кб}_2} = 135 \text{ м}$$

$$r_{0\text{уд}_2} = 2.97 \text{ мОм/м} \quad x_{0\text{уд}_2} = 1.241 \text{ мОм/м}$$

$$r_{1\text{кб}_2} = r_{1\text{уд}_2} \cdot l_{\text{кб}_2} = 148.5 \text{ мОм} \quad r_{0\text{кб}_2} := r_{0\text{уд}_2} \cdot l_{\text{кб}_2} = 401.0 \text{ мОм}$$

$$x_{1\text{кб}_2} := x_{1\text{уд}_2} \cdot l_{\text{кб}_2} = 9.18 \text{ мОм} \quad x_{0\text{кб}_2} := x_{0\text{уд}_2} \cdot l_{\text{кб}_2} = 168.0 \text{ мОм}$$

Сопrotивление кабеля R-06 (ВВГнг(LS) 5x6, 15 м):

$$r_{1\text{уд}_3} = 1.1 \text{ мОм/м} \quad x_{1\text{уд}_3} = 0.068 \text{ мОм/м} \quad l_{\text{кб}_3} = 15 \text{ м}$$

$$r_{0\text{уд}_3} = 2.97 \text{ мОм/м} \quad x_{0\text{уд}_3} = 1.241 \text{ мОм/м}$$

$$r_{1\text{кб}_3} = r_{1\text{уд}_3} \cdot l_{\text{кб}_3} = 16.5 \text{ мОм} \quad r_{0\text{кб}_3} := r_{0\text{уд}_3} \cdot l_{\text{кб}_3} = 44.5 \text{ мОм}$$

$$x_{1\text{кб}_3} := x_{1\text{уд}_3} \cdot l_{\text{кб}_3} = 1.02 \text{ мОм} \quad x_{0\text{кб}_3} := x_{0\text{уд}_3} \cdot l_{\text{кб}_3} = 18.6 \text{ мОм}$$

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

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист
4

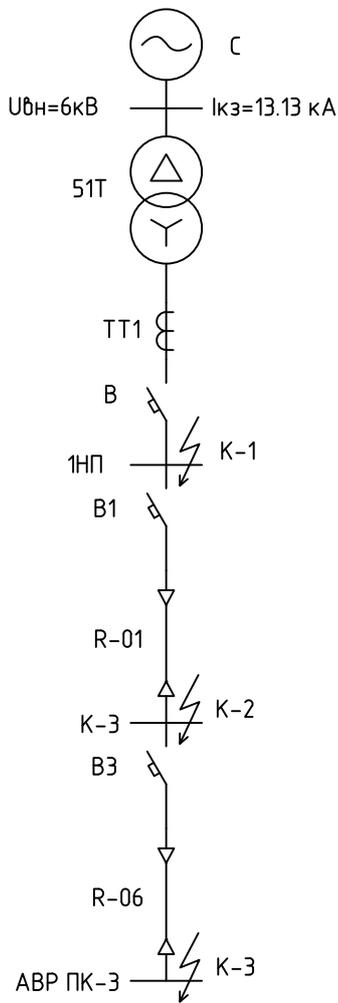


Рис. 1 Расчётная схема

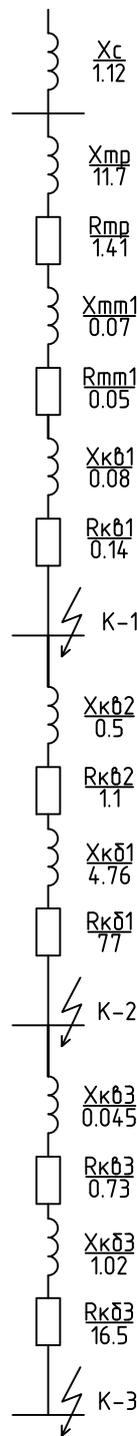


Рис. 2 Схема замещения прямой (обратной) последовательности

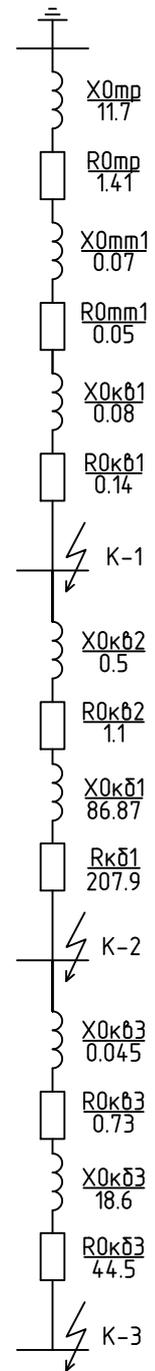


Рис. 3 Схема замещения нулевой последовательности

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Изм.	Кол. уч.
Лист	№ док.
Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист

5

Расчёт токов КЗ в точке К-1

Трёхфазное КЗ

Ток трёхфазного металлического КЗ определяется по формуле:

$$I_{к3_к1_м} = \frac{U_{ср_нн}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}$$

$$r_{1\Sigma} = R_{1тр} + r_{1тт_1} + r_{1кв_1} = 1.6 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} = X_c + X_{1тр} + x_{1тт_1} + x_{1кв_1} = 13.0 \text{ мОм}$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 13.098 \text{ мОм}$$

$$I_{к3_к1_м} := \frac{U_{ср_нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1.6^2 + 13.0^2}} = 17.6 \text{ кА}$$

Ток трёхфазного дугового КЗ:

Снижающий коэффициент определим по формуле для установившегося КЗ (приложение 9, [3]):

$$K_c = 0.55 - 0.002 \cdot z_{\Sigma} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{\Sigma}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{\Sigma}} = 0.603$$

$$I_{к3_к1_д} = I_{к3_к1_м} \cdot K_c = 10.6 \text{ кА}$$

Ударный ток КЗ определяем по формуле: $i_{уд_к1} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к3_к1_м}$

Учитывая соотношение $\frac{x_{1\Sigma}}{r_{1\Sigma}} = 8.125$ согласно рис.5 [4] определим ударный коэффициент $K_{уд} := 1.75$

$$i_{уд_к1} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к3_к1_м} = 1.75 \cdot \sqrt{2} \cdot 17.6 = 43.6 \text{ кА}$$

Двухфазное КЗ

$$I_{к2_к1_м} = \frac{U_{ср_нн}}{\sqrt{3} \cdot z_{2\Sigma}} = 0.865 \cdot I_{к3_к1_м}$$

$$z_{2\Sigma} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{1.6^2 + 13.0^2} = 15.1 \text{ мОм}$$

$$I_{к2_к1_м} := \frac{U_{ср_нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot z_{2\Sigma}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 15.1} = 15.3 \text{ кА} \quad 0.865 \cdot I_{к3_к1_м} = 15.22 \text{ кА}$$

Ток двухфазного дугового КЗ:

$$K_{c2} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{2\Sigma} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{2\Sigma}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{2\Sigma}} = 0.612$$

$$I_{к2_к1_д} = I_{к2_к1_м} \cdot K_{c2} = 9.36 \text{ кА}$$

Однофазное КЗ

$$I_{к1_к1_м} = \frac{U_{ср_нн}}{\sqrt{3} \cdot z_{1\Sigma}}$$

$$z_{1\Sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	72122884.4251005.092.АК01.РК						Лист
					Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	6

$$r_{0\Sigma} = R_{0\text{тр}} + r_{0\text{тт}_1} + r_{0\text{кв}_1} = 1.41 + 0.05 + 0.14 = 1.6 \text{ мОм}$$

$$x_{0\Sigma} = X_{0\text{тр}} + x_{0\text{тт}_1} + x_{0\text{кв}_1} = 11.8 \text{ мОм}$$

$$z_{1\Sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 1.6 + 1.6)^2 + (2 \cdot 13.0 + 11.8)^2} = 12.7 \text{ мОм}$$

$$I_{k1_K1_M} = \frac{U_{\text{ср_нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot z_{1\Sigma}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12.7} = 18.2 \text{ кА}$$

Ток однофазного дугового КЗ:

$$K_{c1} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{1\Sigma} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{1\Sigma}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{1\Sigma}} = 0.601$$

$$I_{k1_K1_Д} = I_{k1_K1_M} \cdot K_{c2} = 11.1 \text{ кА}$$

Расчёт токов КЗ в точке К-2

Трёхфазное КЗ

$$r_{1\Sigma_K2} = r_{1\Sigma} + r_{1\text{кв}_2} + r_{1\text{кб}_1} \rightarrow 1.6 + 1.1 + 77 = 79.7 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma_K2} := x_{1\Sigma} + x_{1\text{кв}_2} + x_{1\text{кб}_1} = 13.0 + 0.5 + 4.76 = 18.3 \text{ мОм}$$

$$z_{\Sigma_K2} := \sqrt{r_{1\Sigma_K2}^2 + x_{1\Sigma_K2}^2}$$

$$I_{k3_K2_M} = \frac{U_{\text{ср_нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma_K2}^2 + x_{1\Sigma_K2}^2}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{79.7^2 + 18.3^2}} = 2.82 \text{ кА}$$

$$K_{c_K2} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{\Sigma_K2} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{\Sigma_K2}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{\Sigma_K2}} = 0.77$$

$$I_{k3_K2_Д} = I_{k3_K2_M} \cdot K_{c_K2} = 2.17 \text{ кА}$$

Двухфазное КЗ

$$z_{2\Sigma_K2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma_K2}^2 + x_{1\Sigma_K2}^2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{79.7^2 + 18.3^2} = 94.4 \text{ мОм}$$

$$I_{k2_K2_M} = \frac{U_{\text{ср_нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot z_{2\Sigma_K2}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 94.4} = 2.45 \text{ кА}$$

$$K_{c2_K2} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{2\Sigma_K2} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{2\Sigma_K2}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{2\Sigma_K2}} = 0.786$$

$$I_{k2_K2_Д} = I_{k2_K2_M} \cdot K_{c2_K2} = 1.93 \text{ кА}$$

Однофазное КЗ

$$r_{0\Sigma_K2} := r_{0\Sigma} + r_{0\text{кв}_2} + r_{0\text{кб}_1} = 1.6 + 1.1 + 208.0 = 210.7 \text{ мОм}$$

$$x_{0\Sigma_K2} = x_{0\Sigma} + x_{0\text{кв}_2} + x_{0\text{кб}_1} = 11.8 + 0.5 + 86.9 = 99.2 \text{ мОм}$$

$$z_{1\Sigma_K2} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma_K2} + r_{0\Sigma_K2})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma_K2} + x_{0\Sigma_K2})^2} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 79.7 + 210.7)^2 + (2 \cdot 18.3 + 99.2)^2}$$

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

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

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист
7

$$z_{1\Sigma_K2} = 131.4 \text{ мОм}$$

$$I_{k1_K2_м} = \frac{U_{ср_нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot z_{1\Sigma_K2}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 79.7 + 210.7)^2 + (2 \cdot 18.3 + 99.2)^2}} = 1.76 \text{ кА}$$

$$K_{c1_K2} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{1\Sigma_K2} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{1\Sigma_K2}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{1\Sigma_K2}} = 0.823$$

$$I_{k1_K2_д} = I_{k1_K2_м} \cdot K_{c2} = 1.08 \text{ кА}$$

Для оценки чувствительности автомата В2 найдём минимальный ток однофазного/двухфазного КЗ при питании от секции 0.4 кВ 2НП:

$$I_{k1_K2'_д} = 0.574 \text{ кА}$$

$$I_{k2_K2'_д} = 1.12 \text{ кА}$$

Расчёт токов КЗ в точке К-3

Трёхфазное КЗ

$$r_{1\Sigma_K3} = r_{1\Sigma_K2} + r_{1кв_3} + r_{1кб_2} \rightarrow 79.7 + 0.73 + 148.5 = 228.93 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma_K3} := x_{1\Sigma_K2} + x_{1кв_3} + x_{1кб_2} = 18.3 + 0.045 + 9.18 = 27.5 \text{ мОм}$$

$$z_{\Sigma_K3} := \sqrt{r_{1\Sigma_K3}^2 + x_{1\Sigma_K3}^2}$$

$$I_{k3_K3_м} = \frac{U_{ср_нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma_K3}^2 + x_{1\Sigma_K3}^2}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{228.93^2 + 27.5^2}} = 1.0 \text{ кА}$$

$$K_{c_K3} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{\Sigma_K3} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{\Sigma_K3}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{\Sigma_K3}} = 0.871$$

$$I_{k3_K3_д} = I_{k3_K3_м} \cdot K_{c_K3} = 0.871 \text{ кА}$$

Двухфазное КЗ

$$z_{2\Sigma_K3} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{r_{1\Sigma_K3}^2 + x_{1\Sigma_K3}^2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{228.93^2 + 27.5^2} = 266.0 \text{ мОм}$$

$$I_{k2_K3_м} = \frac{U_{ср_нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot z_{2\Sigma_K3}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 266.0} = 0.868 \text{ кА}$$

$$K_{c2_K3} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{2\Sigma_K3} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{2\Sigma_K3}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{2\Sigma_K3}} = 0.877$$

$$I_{k2_K3_д} = I_{k2_K3_м} \cdot K_{c2_K3} = 0.761 \text{ кА}$$

Однофазное КЗ

$$r_{0\Sigma_K3} := r_{0\Sigma_K2} + r_{0кв_3} + r_{0кб_2} = 210.7 + 0.73 + 401.0 = 612.43 \text{ мОм}$$

$$x_{0\Sigma_K3} := x_{0\Sigma_K2} + x_{0кв_3} + x_{0кб_2} = 99.2 + 0.045 + 168.0 = 267.0 \text{ мОм}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	72122884.4251005.092.АК01.РК						Лист
					Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	8

$$z_{1\Sigma_К3} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma_К3} + r_{0\Sigma_К3})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma_К3} + x_{0\Sigma_К3})^2} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 228.93 + 612.43)^2 + (2 \cdot 27.5 + 267)^2}$$

$$z_{1\Sigma_К3} = 372.6 \text{ мОм}$$

$$I_{к1_К3_м} = \frac{U_{ср_нн} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot z_{1\Sigma_К3}} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 228.93 + 612.43)^2 + (2 \cdot 27.5 + 267.0)^2}} = 0.62 \text{ кА}$$

$$K_{с1_К3} = 0.55 - 0.002 \cdot z_{1\Sigma_К3} + 0.1 \cdot \sqrt{z_{1\Sigma_К3}} - 0.12 \cdot \sqrt[3]{z_{1\Sigma_К3}} = 0.872$$

$$I_{к1_К3_д} = I_{к1_К3_м} \cdot K_{с2} = 0.379 \text{ кА}$$

Для оценки чувствительности автомата ВЗ найдём минимальный ток однофазного/двухфазнс КЗ при питании от секции 0.4 кВ 2НП:

$$I_{к1_К3'_д} = 0.289 \text{ кА}$$

$$I_{к2_К3'_д} = 0.579 \text{ кА}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	72122884.4251005.092.АК01.РК						Лист
					Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	9

Проверка чувствительности

Проверка чувствительности отсечки к однофазному току КЗ:

$$K_{ч1} = \frac{I_{к1.мин}}{I_{с.о}} \geq 1.1 \cdot K_p$$

$K_p := 1.3$ - коэффициент разброса

Проверка чувствительности отсечки к двухфазному току КЗ:

$$K_{ч2} = \frac{I_{к2.мин}}{I_{с.о}} \geq 1.1 \cdot K_p$$

$I_{с.о}$ - уставка тока защиты от КЗ

Чувствительность автоматического выключателя, имеющего только тепловой расцепитель:

$$3 \cdot I_{т.р} \leq I_{к1.мин}$$

$I_{т.р}$ - уставка тока защиты от перегрузки

Параметры выключателя В 1 (В2):

марка: А3734С УЗ

номинальный ток: $I_n = 250$ А

Уставка тока защиты от перегрузки: $I_1 = 250 \dots 200 \dots 160$ А

Уставка теплового расцепителя: $t_1 = 4 \dots 8 \dots 16$ с при $I = 5 \cdot I_n$

Уставка тока защиты от КЗ (селективная): $I_2 = (2 \dots 3 \dots 5 \dots 7 \dots 10) \cdot I_1$

Уставка полупроводникового расцепителя: $t_2 = 0.1 \dots 0.25 \dots 0.4$ с

Принимаем следующие уставки:

$$I_1 := 160 \text{ А} \quad t_1 := 4 \text{ с}$$

$$I_2 := 480 \text{ А} \quad t_2 := 0.1 \text{ с}$$

Проверка чувствительности В 1:

$$I_{к1.мин} := I_{к1_к2_д} \cdot 10^3 = 1080 \text{ А} \quad I_{с.о} := I_2 = 480 \text{ А}$$

$$I_{к2.мин} := I_{к2_к2_д} \cdot 10^3 = 1930 \text{ А}$$

$$K_{ч1} := \frac{I_{к1.мин}}{I_{с.о}} = 2.25 \quad K_{ч1} \geq 1.1 \cdot K_p = 1.43$$

$$K_{ч2} := \frac{I_{к2.мин}}{I_{с.о}} = 4.021 \quad K_{ч2} \geq 1.1 \cdot K_p = 1.43$$

Таким образом, выключатель В 1 проходит по чувствительности

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

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

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист
10

Проверка чувствительности В2:

$$I_{к1.мин} := I_{к1_к2'_д} \cdot 10^3 = 574 \text{ A} \quad I_{с.о} := I_2 = 480 \text{ A}$$

$$I_{к2.мин} := I_{к2_к2'_д} \cdot 10^3 = 1120 \text{ A}$$

$$K_{ч1} := \frac{I_{к1.мин}}{I_{с.о}} = 1.196 \quad K_{ч1} \leq 1.1 \cdot K_p = 1.43$$

$$I_{с.о} := 320 \text{ A}$$

Неравенство не выполняется, примем уставку тока защиты от КЗ

$$K_{ч1} := \frac{I_{к1.мин}}{I_{с.о}} = 1.794 \quad K_{ч1} \geq 1.1 \cdot K_p = 1.43$$

$$K_{ч2} := \frac{I_{к2.мин}}{I_{с.о}} = 3.5 \quad K_{ч2} \geq 1.1 \cdot K_p = 1.43$$

Таким образом, выключатель В2 проходит по чувствительности

Проверка чувствительности В3:

Параметры выключателя:

марка: iC60N 3P C25

номинальный ток: $I_n := 25 \text{ A}$

Уставка тока защиты от перегрузки: $I_1 := I_n$

Уставка тока защиты от КЗ: $I_3 := 5I_n$

$$I_{к1.мин} := I_{к1_к3'_д} \cdot 10^3 = 289 \text{ A} \quad I_{с.о} := I_3 = 125 \text{ A}$$

$$I_{к2.мин} := I_{к2_к3'_д} \cdot 10^3 = 579 \text{ A}$$

$$K_{ч1} := \frac{I_{к1.мин}}{I_{с.о}} = 2.312 \quad K_{ч1} \geq 1.1 \cdot K_p = 1.43$$

$$K_{ч2} := \frac{I_{к2.мин}}{I_{с.о}} = 4.632 \quad K_{ч2} \geq 1.1 \cdot K_p = 1.43$$

Таким образом, выключатель В3 проходит по чувствительности

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

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

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист
11

Расчет тока короткого замыкания в цепи =220В

Исходные данные:

$$U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$$

Для кабеля ВВГ 3x10, 60м

$$r_{1\text{кб}} := 1.84 \text{ мОм/м} \quad x_{1\text{кб}} := 0.073 \text{ мОм/м} \quad l_{\text{кб}} := 60 \text{ м}$$

$$r_{\text{кб}} := r_{1\text{кб}} \cdot l_{\text{кб}} = 110.4 \text{ мОм} \quad x_{\text{кб}} := x_{1\text{кб}} \cdot l_{\text{кб}} = 4.38 \text{ мОм}$$

Суммарное активное и индуктивное:

$$r_{1\Sigma} := r_{\text{кб}} \quad r_{1\Sigma} = 110.4 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma} := x_{\text{кб}} \quad x_{1\Sigma} = 4.38 \text{ мОм}$$

$$z_{1\Sigma} := \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = 110.487 \text{ мОм}$$

Определим ток металлического КЗ в расчётной точке (точка К-4):

$$I_{\text{п0_к4}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}} = 1.991 \text{ кА}$$

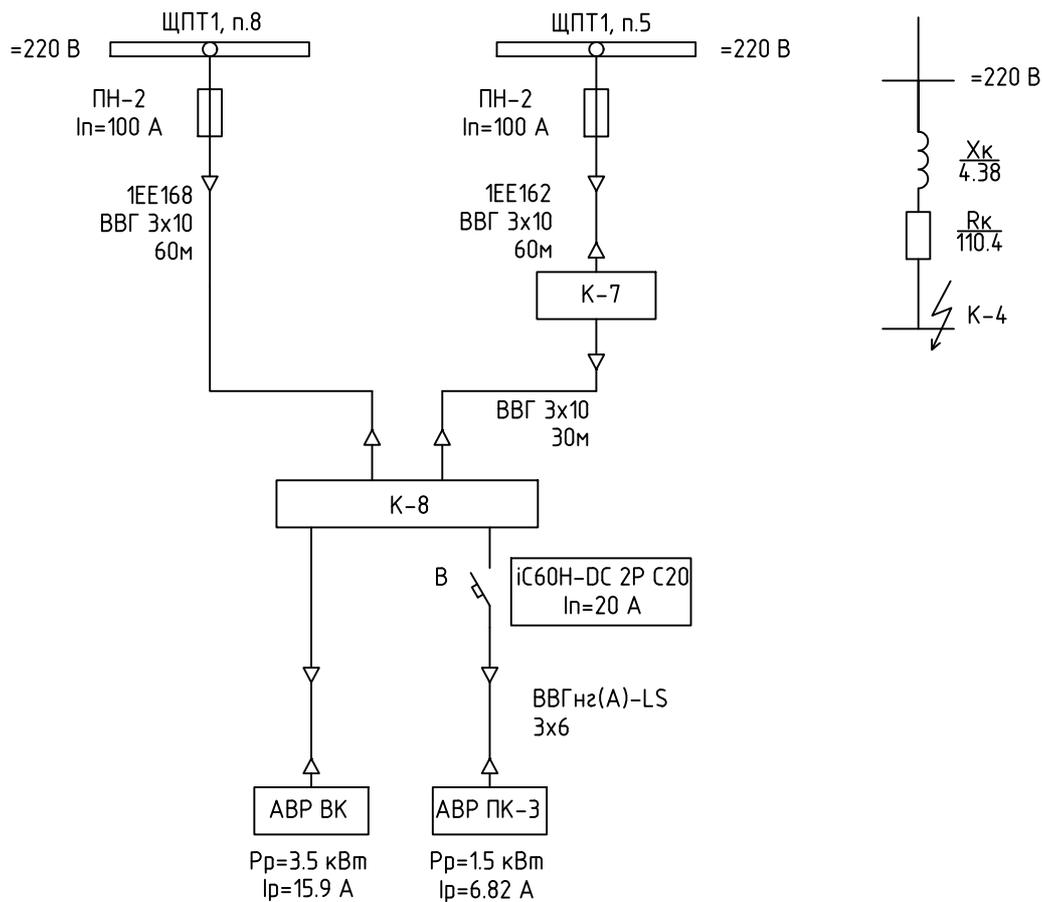


Рис. 2 Расчётная схема
сети =220 В

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

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Выбор и проверка кабельных линий 0.4 кВ от промклеммника К-3 до шкафа АВР ПК-3

Исходные данные:

$U_{\text{ном}} = 0.4$ кВ - номинальное напряжение сети

$S_{\text{макс}} = 11$ кВА - максимальная расчетная мощность потребителей шкафа АВР ПК-3

$I_{\text{кз}} = 2.2$ кА - расчетный ток короткого замыкания в точке подключения питающих кабелей АВР ПК-3.

$\Theta_0 = 30$ °С - фактическая температура окружающей среды. Принимаем летний период эксплуатации кабельных линий с температурой окружающей среды 3С °С.

Принимаем для питания шкафа АВР ПК-3 кабель ВВГнг(А)-LS 5х6.

Рабочий ток нормального режима на каждом кабеле составит:

$$I_{1.\text{раб}} = \frac{S_{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 15.9 \quad \text{А} \quad I_{\text{раб.макс}} := I_{1.\text{раб}}$$

Приведем проверку и расчет кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6 по нагрузочной способности, термической стойкости и невозгоранию.

1. Нагрузочная способность

Температура проводника в рабочем режиме не должна превышать предельно допустимую температуру с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов:

$$v \leq v_{\text{прод.доп}}$$

Продолжительно допустимой температуре проводника соответствует продолжительно допустимый ток. Для кабеля неравенство температур выполняется, если выполняется условие:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq K_{\theta} \cdot I_{\text{доп}}$$

$I_{\text{доп}} = 40$ А - длительно допустимый ток кабеля 0.4 кВ с медными жилами сечением 5х6 с бумажной изоляцией из ПВХ пластиката (табл. 4, ГОСТ 31996-2012)

$K_{\theta} = 0.94$ - поправочный коэффициент, учитывающий расчетное значение температуры окружающей среды 30 °С

Получаем:

$$K_{\theta} \cdot I_{\text{доп}} = 0.94 \cdot 40 = 37.6 \quad \text{А}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 15.9 \text{ А} < K_{\theta} \cdot I_{\text{доп}} = 37.6 \quad \text{А}$$

Таким образом, неравенство соблюдается. **Кабель ВВГнг(А)-LS 5х6 проходит по нагрузочной способности.**

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

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист

13

2. Термическая стойкость

Для кабеля 0.4 кВ с пластмассовой изоляцией максимально допустимая температуры нагрева жилы при коротком замыкании должна составлять не более 160 °С (табл. 11.2, Циркуляр № Ц-2-98 (Э)). Нагрев, возникающий во время короткого замыкания, определяют по величине и длительности короткого замыкания.

Проверка заключается в сравнении расчетного тока в начале кабельной линии и тока односекундного КЗ силового кабеля. Кабель удовлетворяет требованиям по термической стойкости, если выполняется условие:

$$I_{\text{кз.расч}} \leq I_{\text{кз.доп}}$$

$I_{\text{кз.доп}} = 0.81$ кА - допустимый ток односекундного КЗ кабеля 0.4 кВ с медными жилами сечением 5х6 с пластмассовой изоляцией (табл. 23, ГОСТ 31996-2012)

$I_{\text{кз.расч}} = I_{\text{кз}} = 2.2$ кА - ток КЗ в начале кабельной линии 0.4 кВ

Согласно п. 1.4.8 ПУЭ 7 изд., при расчете термической стойкости в качестве расчетного времени принимается сумма времен, получаемая от сложения времени действия основной релейной защиты, в зону которой входят проверяемые кабели, полного времени отключения соответствующего выключателя и постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ:

$t_{\text{рз}} = 0$ с - принимаем уставку срабатывания выключателя ВЗ по току КЗ

$t_{\text{в}} = 0.01$ с - полное время отключения выключателя ВЗ

$T_{\text{а}} = 0.02$ с - постоянная времени затухания для расчетной точки КЗ (согласно Циркуляру № Ц-2-98 (Э))

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{в}} + T_{\text{а}} = 0 + 0.01 + 0.02 = 0.03 \text{ с}$$

Так как расчетное время продолжительности КЗ неравно 1 с, то значение предельно допустимого тока КЗ кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6 необходимо умножить на поправочный коэффициент длительности КЗ, рассчитывающийся по формуле:

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{t_{\text{откл}}}} = \frac{1}{\sqrt{0.03}} = 5.77$$

Таким образом, допустимый ток односекундного КЗ с учетом поправочных коэффициентов равен:

$$K_1 \cdot I_{\text{кз.доп}} = 5.77 \cdot 0.81 = 4.67 \text{ кА}$$

Проверка условия термической стойкости кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6:

$$I_{\text{кз.расч}} = 2.2 \text{ кА} < K_1 \cdot I_{\text{кз.доп}} = 4.67 \text{ кА}$$

Термическая стойкость кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6 при действии основных защит обеспечивается.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Лист

14

3. Проверка по невозгоранию

При испытании на возгорание силовых кабелей токами КЗ длительностью до 4 с установлено, что разрыв оболочек, разрушение концевых заделок и возгорание кабелей не происходит, если температура токопроводящих жил для кабеля с пластмассовой изоляцией не превышает 350 °С.

$$\Theta_{\text{доп}} = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Проверка по условию невозгорания проводится при действии резервной защиты и, как правило, исходя из КЗ в начале кабельной линии. Допускается принимать расчетный ток КЗ на расстоянии 50 м от начала кабельной линии напряжением 10 кВ (Циркуляр № Ц-2-98 (Э)).

$$t_{\text{рз.рез}} = 0.1 \text{ с} - \text{уставка срабатывания вышестоящего выключателя В1}$$

$$I_{\text{кз.расч}} = 2.2 \text{ кА} - \text{ток КЗ в начале кабельной линии 0.4 кВ.}$$

Определим коэффициент К, характеризующий взаимосвязь между тепловым импульсом, сечением жилы и теплофизическими характеристиками материала жилы.

$$S = 6 \text{ мм}^2 - \text{номинальное сечение жилы кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6}$$

$$b = 19.58 \frac{\text{мм}^2}{\text{кА}^2 \text{с}} - \text{постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы (для меди)}$$

Тепловой импульс равен:

$$B_k = I_{\text{кз.расч}}^2 \cdot (t_{\text{рз.рез}} + t_{\text{в}} + T_{\text{а}}) = 2.2^2 \cdot (0.1 + 0.01 + 0.02) = 0.6292 \text{ А}^2 \text{с}$$

Коэффициент К равен:

$$K = \frac{b \cdot B_k}{S^2} = \frac{19.58 \cdot 0.6292}{6^2} = 0.34$$

Определим начальную температуру жилы кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6 до КЗ в нормальном режиме работы:

$$\Theta_{\text{дд}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{длительно допустимая температура токопроводящих жил кабеля с пластмассовой изоляцией}$$

$$\Theta_{\text{окр}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{температура окружающей среды при прокладке кабеля в земле } 15 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ на воздухе } 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta_{\text{о}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{фактическая температура окружающей среды во время КЗ. Принимаем летний период эксплуатации кабельных линий с температурой окружающей среды } 30 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Theta_{\text{н}} = \Theta_{\text{о}} + (\Theta_{\text{дд}} - \Theta_{\text{окр}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{1.раб}}}{I_{\text{доп}}} \right)^2 = 30 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{15.9}{40} \right)^2 = 37.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Определим конечную температуру жилы кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6 в конце времени действия тока КЗ:

$$\alpha = 228 \text{ }^{\circ}\text{C} - \text{величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при } 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Theta_{\text{к}} = \Theta_{\text{н}} \cdot e^K + \alpha \cdot (e^K - 1) = 37.1 \cdot e^{0.34} + 228 \cdot (e^{0.34} - 1) = 144.5$$

$$\Theta_{\text{к}} = 144.5 \text{ }^{\circ}\text{C} < \Theta_{\text{доп}} = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура жилы кабеля ВВГнг(А)-LS 5х6 в конце времени протекания тока короткого замыкания меньше допустимого значения в 350 °С. **Следовательно, кабель ВВГнг(А)-LS 5х6 удовлетворяет условию невозгорания.**

Проверка кабеля по невозгоранию и термической стойкости в цепи 220 В постоянного тока выполняется аналогично, принимаем кабель ВВГнг(А)-LS 5х6.

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

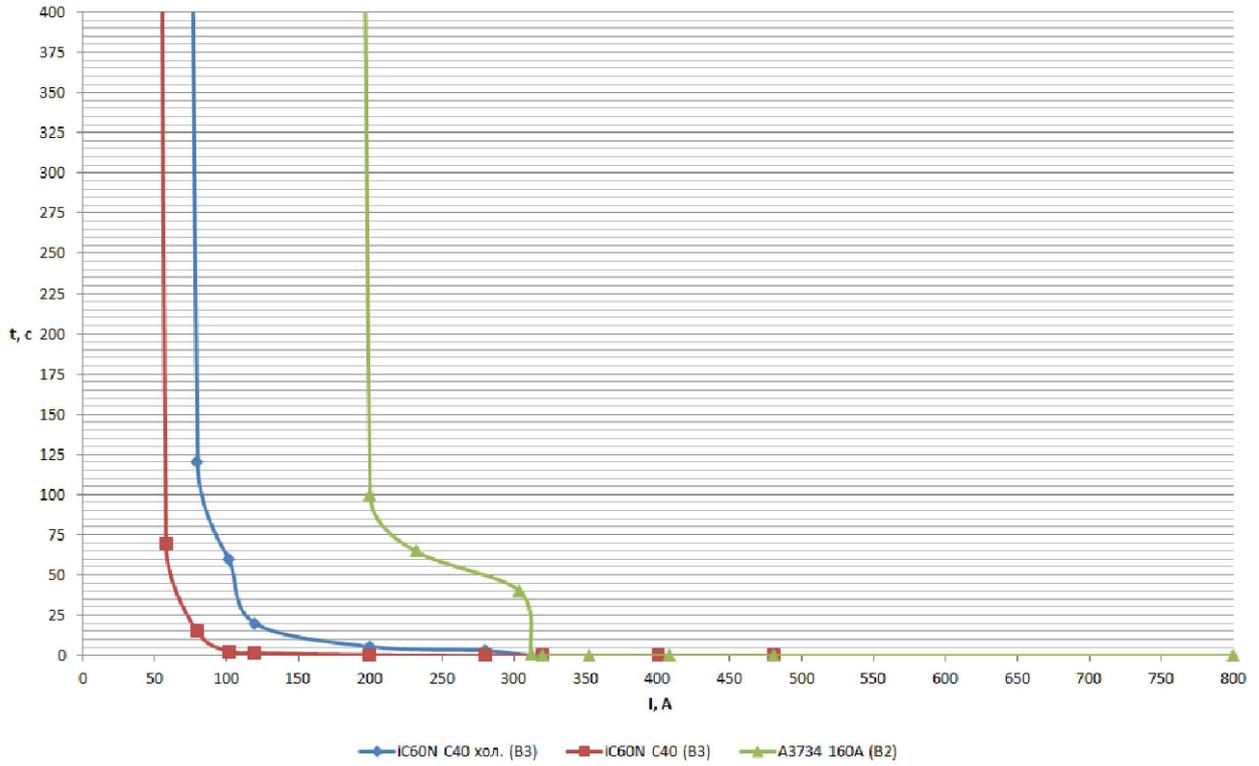
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	----------	------	--------	-------	------

72122884.4251005.092.АК01.РК

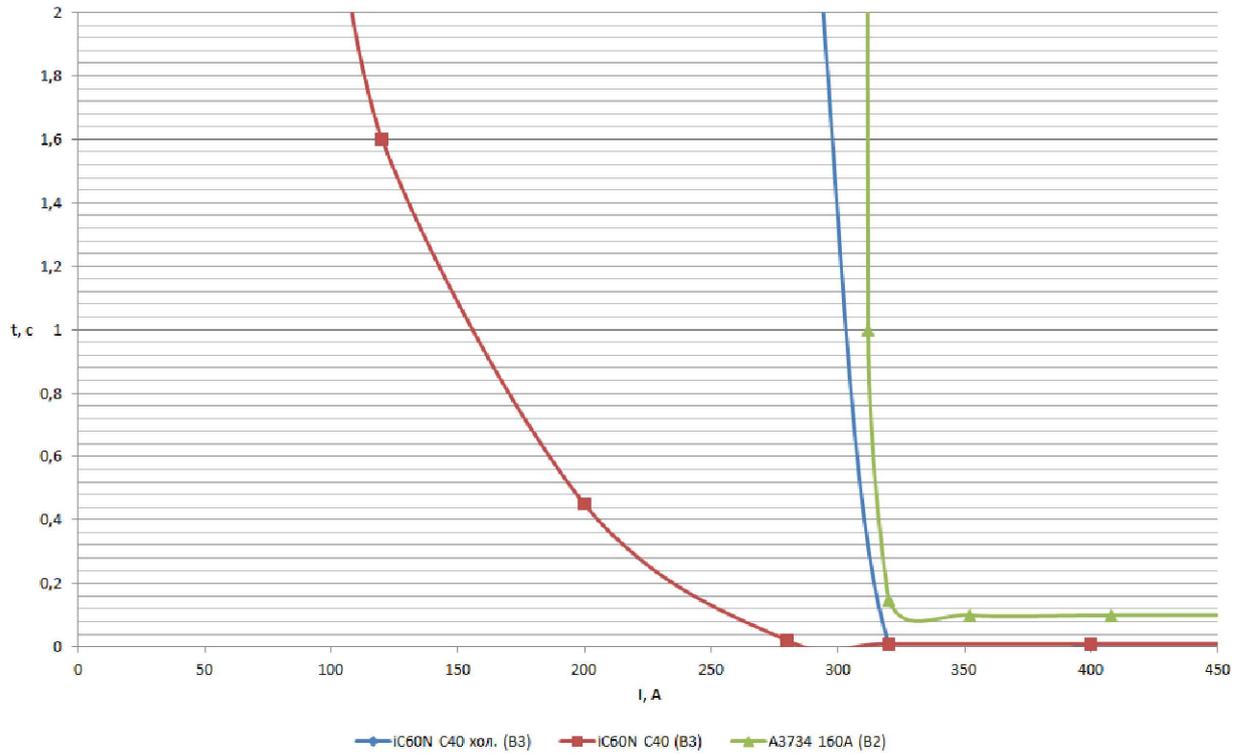
Лист
15

Карты селективности

Карта селективности вводного автомата от 2НП (В2) и автомата В3



Карта селективности вводного автомата от 2НП (В2) и автомата В3

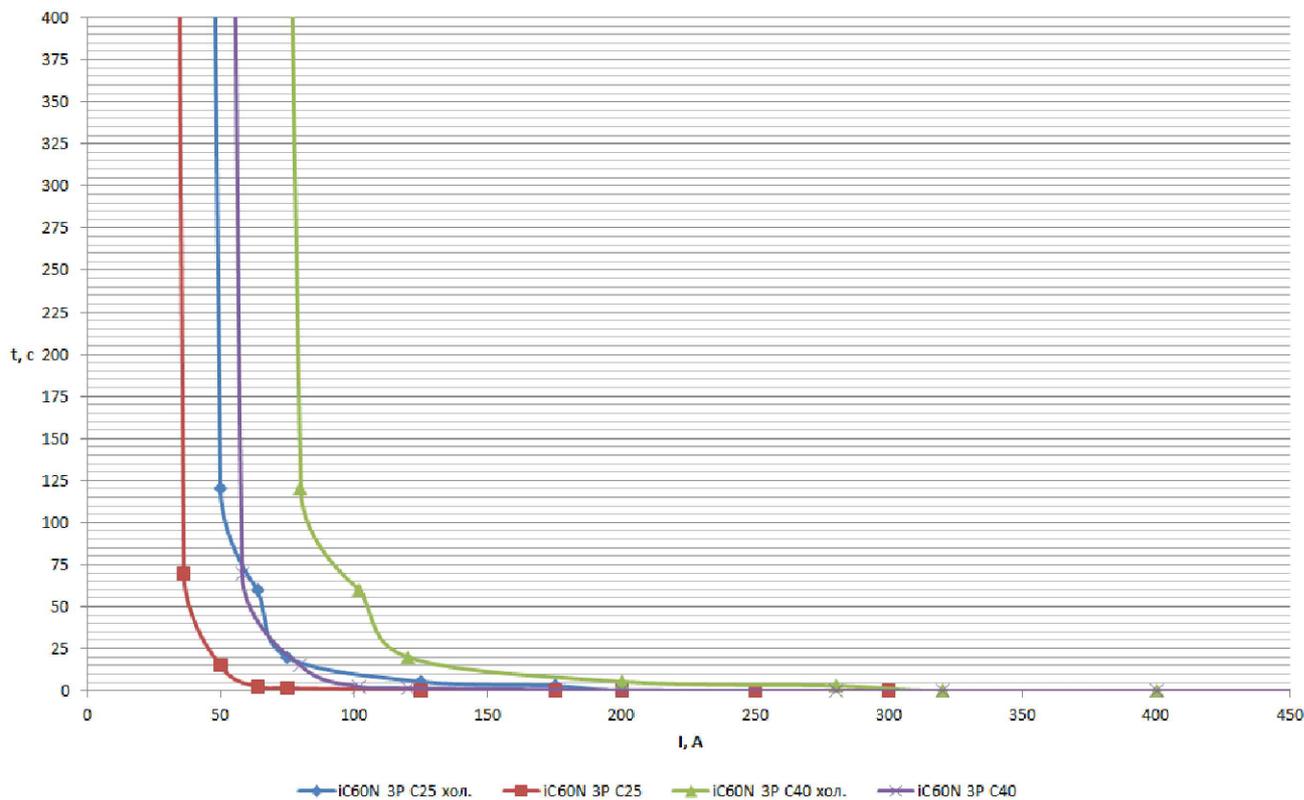


Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

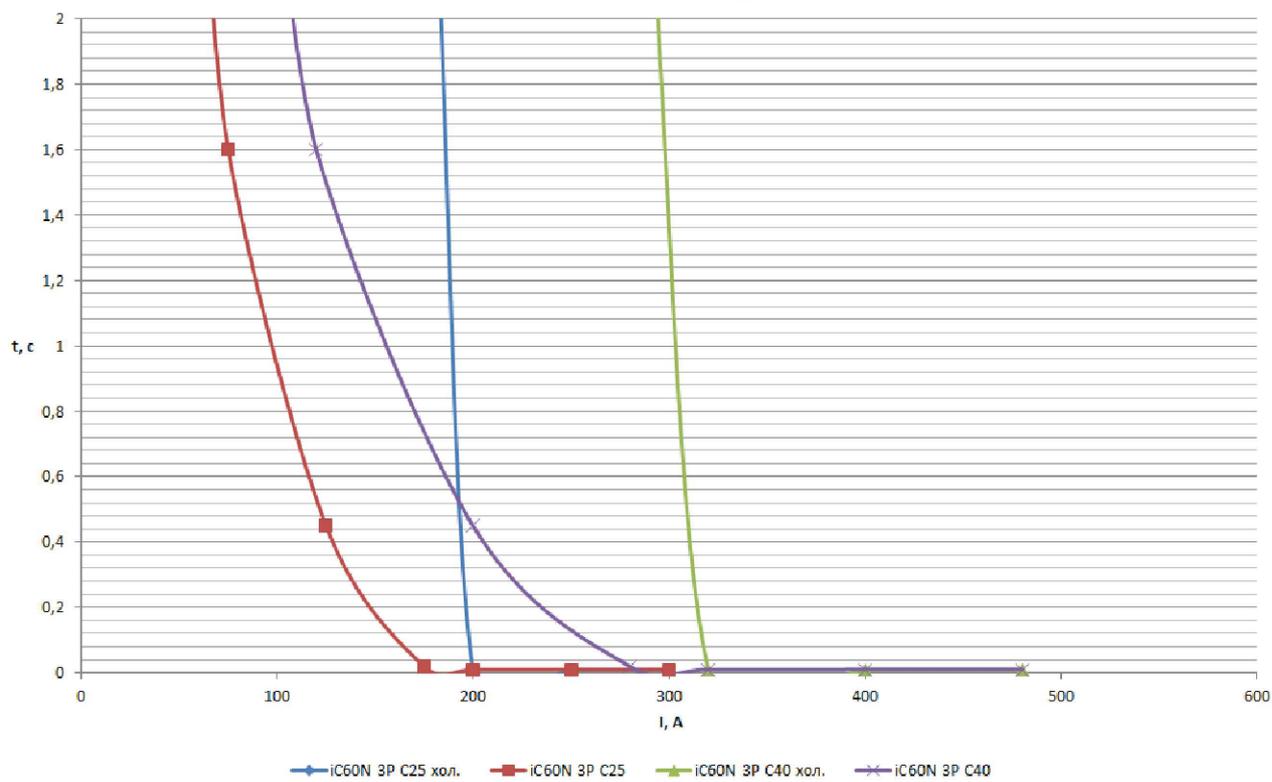
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
------	----------	------	--------	-------	------

72122884.4251005.092.АК01.РК

Карта селективности автомата ВЗ от вводного автомата АВР ПК-3



Карта селективности автомата ВЗ от вводного автомата АВР ПК-3

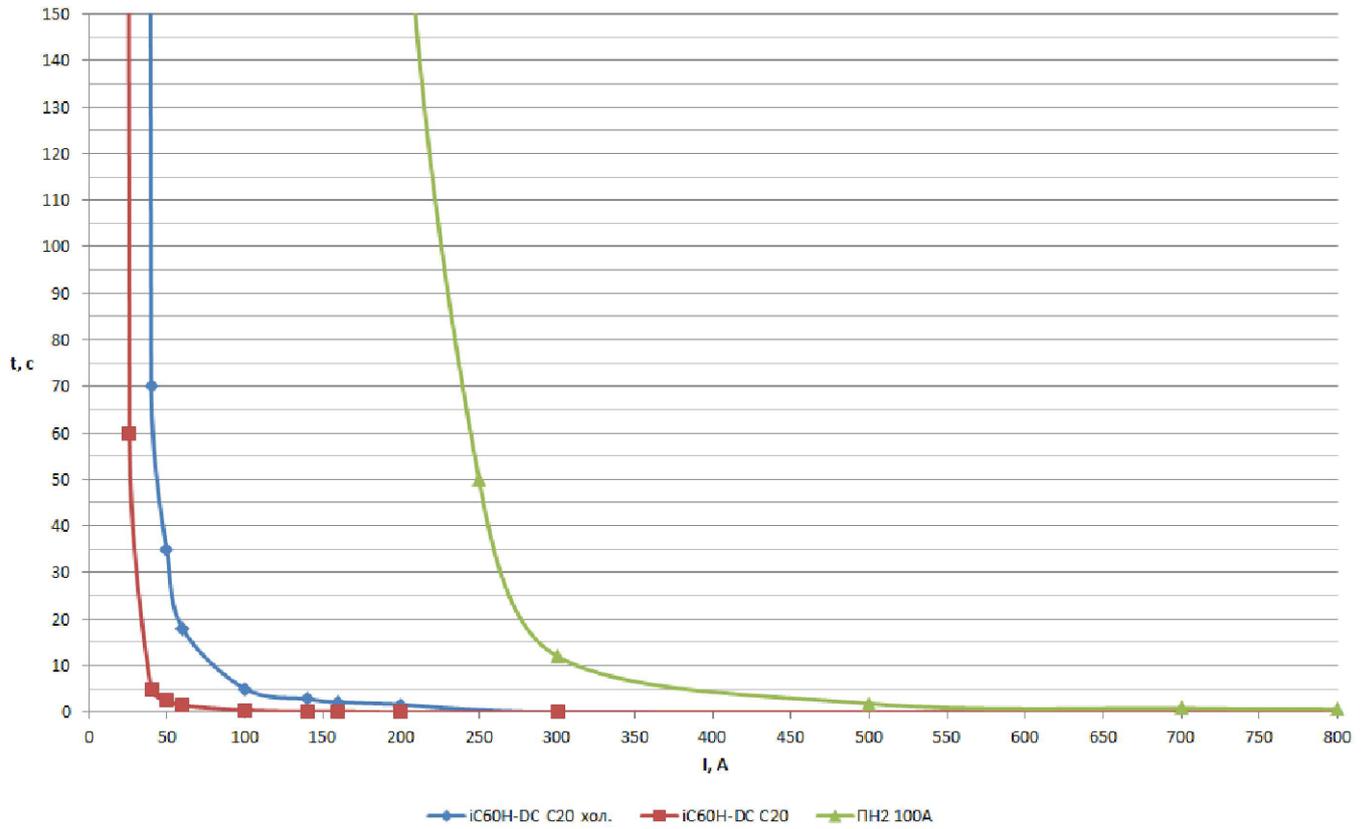


Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

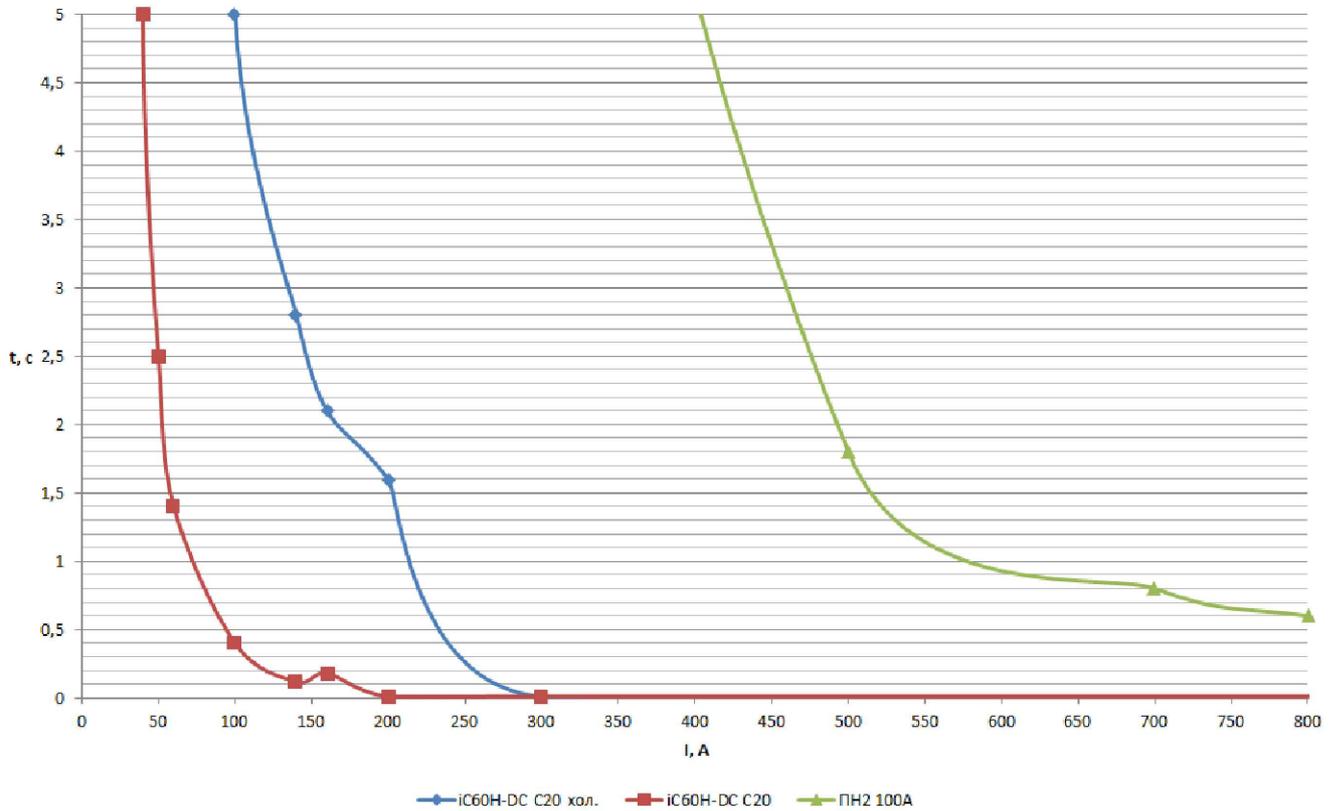
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК

Карта селективности вводного предохранителя от ЩПТ п.8 и выключателя В



Карта селективности вводного предохранителя от ЩПТ п.8 и выключателя В



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

Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

72122884.4251005.092.АК01.РК