

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

Кафедра Электромеханики, электрических и электронных аппаратов



Курсовой проект по теме:
«Проектирование низковольтного комплектного устройства»

Выполнил:	Лазарев Г.
Группа:	ЭЛ-01-16
Проверил:	Молоканов О.Н.

ЗАДАНИЕ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.

А. ЗАДАНИЕ.

Часть 1. Предварительные расчеты.

- 1.1 Рассчитать параметры трансформатора;
- 1.2 Рассчитать токи линий от с 0 по 4;
- 1.3 Выбрать типы и сечения кабелей, соединяющих потребителей с трансформатором;
- 1.4 Рассчитать сопротивления кабелей, падения напряжения в линии и токи короткого замыкания.

Часть 2. Выбор электрических аппаратов управления и защиты.

- 2.1 Сформулировать критерии выбора аппаратов, используемых в схемах электроснабжения;
- 2.2 По промышленным каталогам провести выбор следующих аппаратов:
 - Аппараты защиты схемы однофазной нагрузки АВ (QF2-FD4), ВДТ (FD2-FD4);
 - Автоматический выключатель в схеме управления и защиты двигателя (QF1);
 - Контактор КМ и тепловое реле КК в схеме управления и защиты двигателя;
 - Аппарат защиты цепи управления двигателем (предохранитель FU);
 - Выключатель нагрузки на вводе в НКУ QS0;
 - Автоматический выключатель в начале линии QF11;
 - Автоматический выключатель QF10;
 - Кнопки, корпус НКУ;
 - Клеммные соединения для ввода и вывода кабелей;
- 2.3 Провести проверку выбранных аппаратов;
- 2.4 Построить карту селективности, на которую нанести времятоковые характеристики для аппаратов QF10, QF11, QF1, КК, рассчитанные токи коротких замыканий и пусковую характеристику электродвигателя.

Часть 3. Конструкторская проработка проекта.

- 3.1 Начертить однолинейную схему НКУ с учетом выбранных аппаратов;
- 3.2 Разместить выбранные аппараты в корпусе НКУ с учетом их габаритных и установочных размеров;
- 3.3 Выполнить соединения силовых цепей аппаратов и цепей управления;

3.4 Провести маркировку проводов согласно электрической схеме.

Однолинейная схема электроснабжения

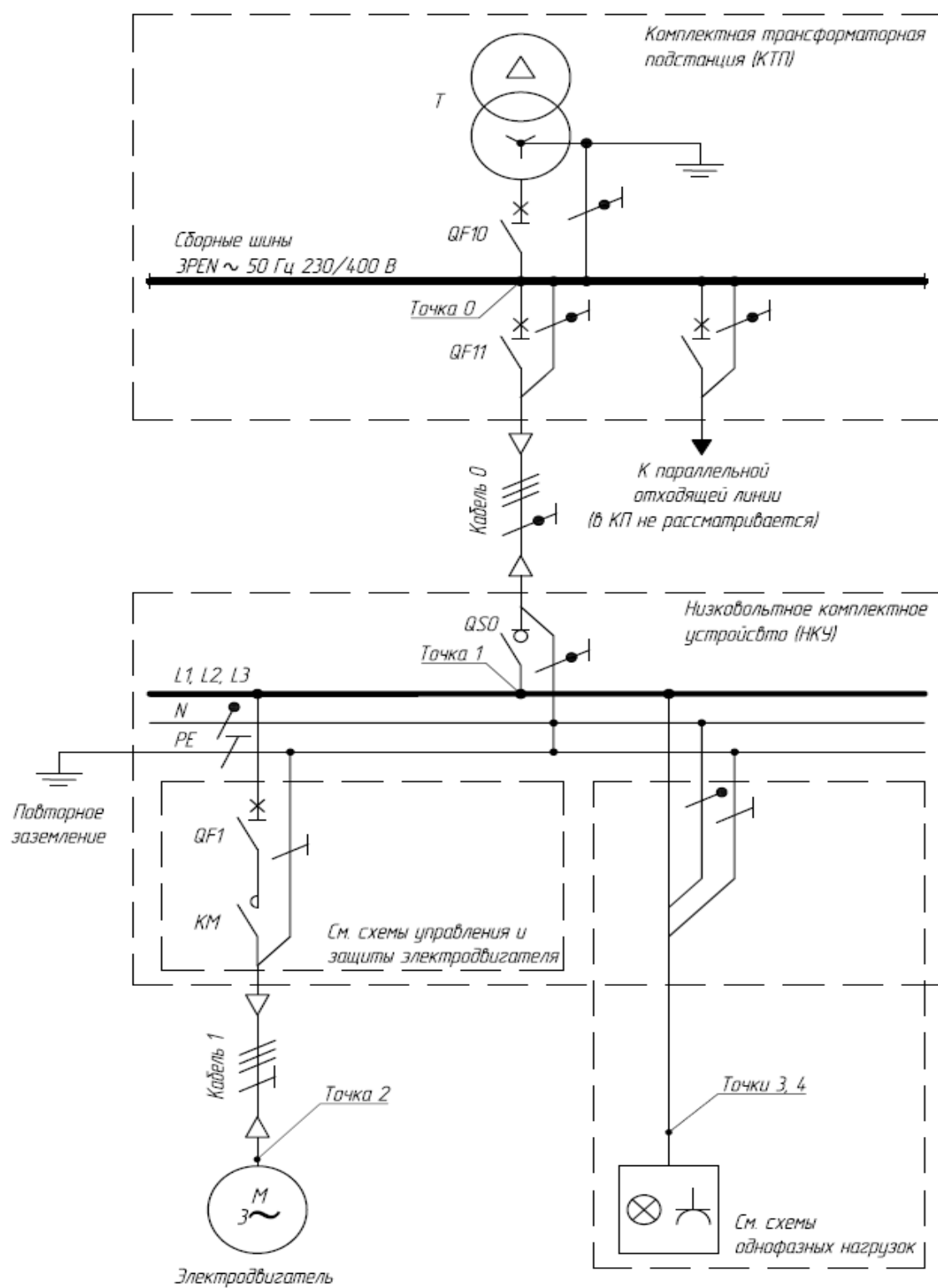


Схема однофазных нагрузок.

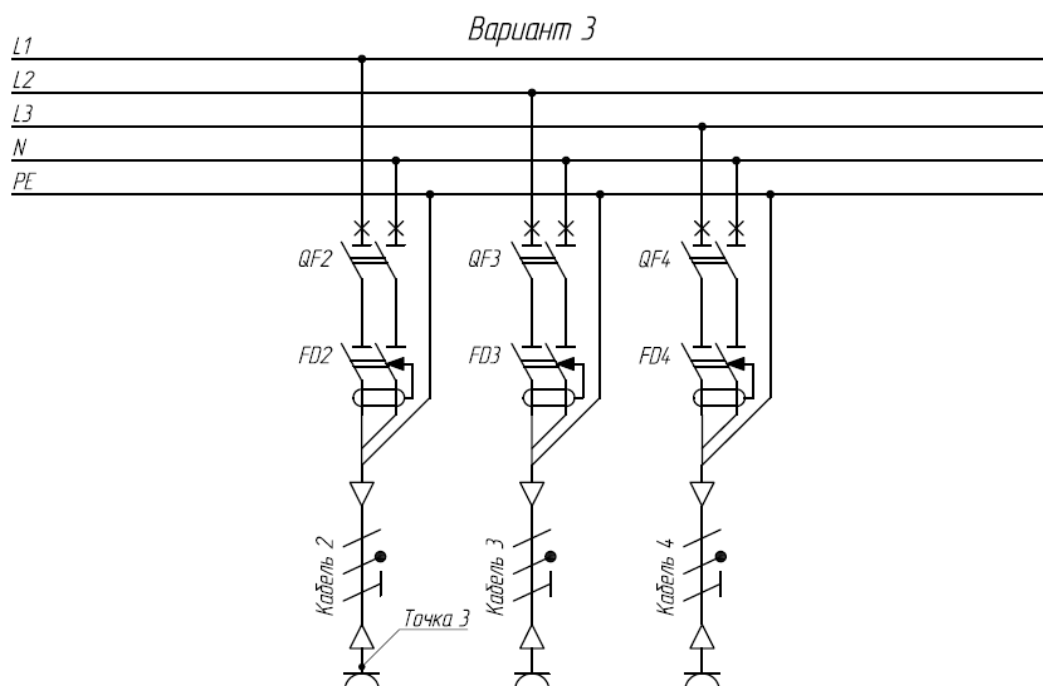
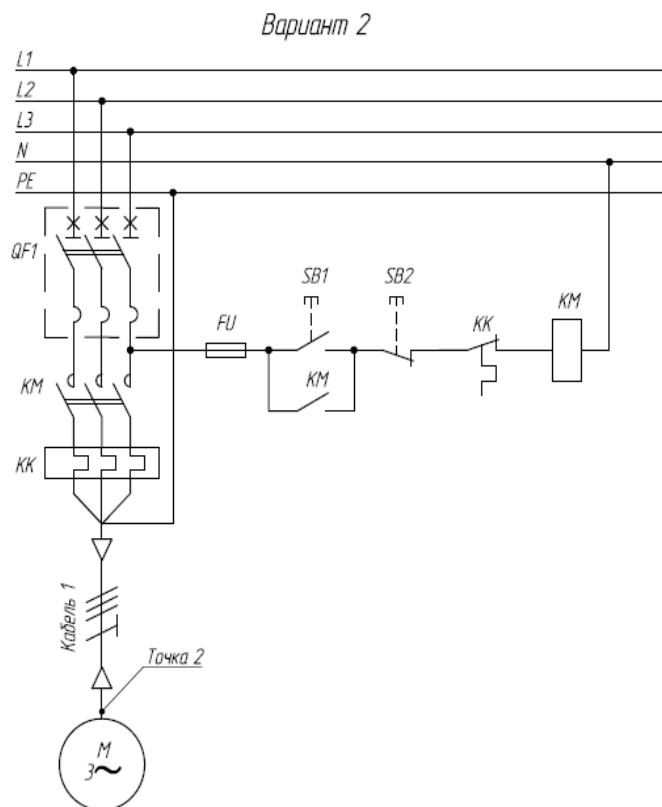


Схема управления и защиты электродвигателя.



Б. ЧИСЛОВЫЕ ДАННЫЕ.

Номер группы – 1. Номер по списку группы – 16. Вариант $1 + 16 = 17$.

Параметры питающего силового трансформатора.

$S_{т.ном} = 400$ кВА – Номинальная мощность.

$U_{нн.ном} = 400$ В – Номинальное напряжение обмотки низшего напряжения.

$P_k = 5,9$ кВт – Потери короткого замыкания.

$u_k = 4,5\%$ - Напряжение короткого замыкания.

Длины соединительных кабелей.

$l_0 = 40$ м – Длина кабеля 0.

$l_1 = 10$ м – Длина кабеля 1.

$l_2 \dots l_4 = 20$ м – Длина кабелей 1...7.

Параметры однофазной нагрузки.

Номер варианта схемы однофазной нагрузки – 3.

$P_2 \dots P_4 = 3,2$ кВт – Мощность нагрузки со 2 по 4.

$\cos(\varphi_2 \dots \varphi_4) = 0,95$ – Коэффициент мощности со 2 по 4.

Параметры трехфазной нагрузки (асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором).

Номер варианта схемы управления и защиты электродвигателя – 2.

Тип электродвигателя – АИР 132 М2

$P_{д.ном} = 11$ кВт – Мощность.

$\eta_d = 88\%$ - КПД.

$\cos(\varphi_d) = 0,9$ – Коэффициент мощности.

$k_1 = 7,5$ – Кратность пускового тока по отношению к номинальному току.

$t_n = 3$ с – Время пуска.

$U_{д.ном} = 380$ В – Номинальное напряжение двигателя.

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ СО СВОДНЫМИ ТАБЛИЦАМИ.

1.1 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА.

Номинальный ток фазы обмотки низшего напряжения.

$$I_{\text{HH,НОМ}} = \frac{S_{\text{Т.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{HH,НОМ}}} = 400 \cdot \frac{10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 577,4 \text{ А} \quad (1)$$

Модуль полного сопротивления силового трансформатора.

$$Z_{\text{Т}} = \frac{U_{\text{HH,НОМ}}^2}{S_{\text{Т.НОМ}}} \cdot \frac{u_{\text{к}}}{100} = 400^2 \cdot \frac{4.5}{400 \cdot 10^3 \cdot 100} = 18 \text{ мОм} \quad (2)$$

Активное сопротивление силового трансформатора.

$$r_{\text{Т}} = \frac{P_{\text{к}}}{3 \cdot I_{\text{HH,НОМ}}^2} = 5,9 \cdot \frac{10^3}{3 \cdot 577,4^2} = 5,9 \text{ мОм} \quad (3)$$

Индуктивное сопротивление силового трансформатора.

$$x_{\text{Т}} = \sqrt{Z_{\text{Т}}^2 - r_{\text{Т}}^2} = \sqrt{18^2 - 5,9^2} = 17 \text{ мОм} \quad (4)$$

1.2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ.

А. Трехфазная нагрузка.

Действующее значение тока, потребляемое трехфазным электродвигателем из сети в номинальном режиме по каждой из фаз.

$$I_{\text{д.НОМ}} = I_{\text{В1}} = \frac{P_{\text{д.НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{д.НОМ}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \cos(\varphi_{\text{д}})} = 11 \cdot \frac{10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,9} = 21,1 \text{ А} \quad (5)$$

Пусковой ток двигателя.

$$I_{\text{д.п}} = k_1 \cdot I_{\text{д.НОМ}} = 7,5 \cdot 21,1 = 158,3 \text{ А} \quad (6)$$

Ударный ток двигателя.

$$I_{y,д} = 1,1 * \sqrt{2} * I_{д,п} = 1,1 * \sqrt{2} * 158,3 = 246,2 \text{ A} \quad (7)$$

Б. Однофазная нагрузка.

Расчетное значение тока, протекающего по фазному L и нулевому N проводникам каждой из кабельных линий с однофазной нагрузкой.

$$I_{B2..4} = \frac{\sqrt{3} * P_2}{U_{н.ном} * \cos(\varphi_2)} = \sqrt{3} * \frac{3200}{220 * 0,95} = 15,31 \text{ A} \quad (8)$$

1.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ.

Выбираем кабель с медными жилами с резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке, проложенный на открытом воздухе.

Расчетный ток в каждой из фазных жил в кабеле 0.

$$I_{B0} = I_{B1} + I_{B2} = 15,3 + 21,1 = 36,4 \text{ A} \quad (9)$$

Расчетный ток с запасом 30% в кабеле 0.

$$I_0 \geq 1,3 * I_{B0} = 1,3 * 36,41 = 47,3 \text{ A} \quad (10)$$

Длительно допустимый ток в кабеле 0.

$$I_{Z0} = 55 \text{ A}$$

Согласно таблице 1.3.6. ПУЭ выбираем сечение жилы кабеля 0.

$$S_{к0} = 10 \text{ мм}^2$$

На основании выбранного поперечного сечения проводим расчет активного, индуктивного и полного сопротивления кабеля 0.

$$r_{к0} = r_{уд0} * l_0 = 2,4 * 40 = 96 \text{ мОм} \quad (12)$$

$$x_{к0} = x_{уд0} * l_0 = 0,08 * 40 = 3,2 \text{ мОм} \quad (13)$$

$$Z_{K0} = \sqrt{r_{K0}^2 + x_{K0}^2} = \sqrt{96^2 + 3,2^2} = 96,1 \text{ мОм} \quad (15)$$

Расчетный ток с запасом 30% в кабеле 1.

$$I_{Z1} \geq 1,3 * I_{B1} = 1,3 * 21,1 = 27,4 \text{ А} \quad (16)$$

Длительно допустимый ток в кабеле 1.

$$I_{Z1} = 35 \text{ А}$$

Согласно таблице 1.3.6. ПУЭ выбираем сечение жилы кабеля 1.

$$S_{K1} = 4 \text{ мм}^2$$

На основании выбранного поперечного сечения проводим расчет активного, индуктивного и полного сопротивления кабеля 1.

$$r_{K1} = r_{уд1} * l_1 = 5,85 * 10 = 58,5 \text{ мОм} \quad (17)$$

$$x_{K1} = x_{уд1} * l_1 = 0,091 * 10 = 0,9 \text{ мОм} \quad (18)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{r_{K1}^2 + x_{K1}^2} = \sqrt{58,5^2 + 0,9^2} = 58,5 \text{ мОм} \quad (19)$$

Расчетный ток с запасом 30% в кабеле 2, 3, 4.

$$I_{Z2} = I_{Z3} = I_{Z4} \geq 1,3 * I_{B2} = 1,3 * 15,3 = 19,9 \text{ А} \quad (20)$$

Длительно допустимый ток в кабеле 2, 3, 4.

$$I_{Z2} = I_{Z3} = I_{Z4} = 27 \text{ А} \quad (20)$$

Согласно таблице 1.3.6. ПУЭ выбираем сечение жилы кабеля 2, 3, 4.

$$S_{K2} = S_{K3} = S_{K4} = 2,5 \text{ мм}^2$$

На основании выбранного поперечного сечения проводим расчет активного, индуктивного и полного сопротивления кабелей 2,3,4.

$$r_{K2} = r_{K3} = r_{K4} = 9,2 * 20 = 184 \text{ мОм} \quad (21)$$

$$x_{K2} = x_{K3} = x_{K4} = x_{уд2} * l_2 = 0,097 * 20 = 1,94 \text{ мОм} \quad (22)$$

$$Z_{K2} = Z_{K3} = Z_{K4} = \sqrt{r_{K2}^2 + x_{K2}^2} = \sqrt{184^2 + 1,94^2} = 184 \text{ мОм} \quad (23)$$

Таблица 1 – Параметры кабелей.

	0	1	2...4
Длина кабеля, l, м	40	20	20
Расчетный ток кабеля, I _В , А	36,4	21,1	15,3
Расчетный ток кабеля с запасом в 30%, А	47,3	27,4	19,9
Суммарное количество жил кабеля	4	4	3
Количество жил под нагрузкой	3	3	2
Площадь поперечного сечения жил, s _к , мм ²	10	4	2,5
Длительно допустимый ток кабеля, I _З , А	55	35	27
Удельное активное сопротивление, r _{уд} , мОм/м	2,4	5,85	9,2
Удельное индуктивное сопротивление, x _{уд} , мОм/м	0,08	0,091	0,097
Активное сопротивление, r _к , мОм	96	58,5	184
Индуктивное сопротивление, x _к , мОм	3,2	0,9	1,94

1.4 ПРОВЕРКА ВЫБРАННЫХ КАБЕЛЕЙ ПО УСЛОВИЮ ДОПУСТИМОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ.

А. Номинальный режим работы электроустановки.

Падение напряжения в кабеле 0.

$$u_{к0} = Z_{к0} * I_{В0} = 36,4 * 0,0961 = 3,5 \text{ В} \quad (24)$$

Падение напряжения в кабеле 1.

$$u_{к1} = Z_{к1} * I_{В1} = 21,1 * 0,0585 = 1,2 \text{ В} \quad (25)$$

Падение напряжения в кабеле 2,3,4.

$$u_{к2} = u_{к3} = u_{к4} = 2 * Z_{к2} * I_{В2} = 2 * 15,3 * 0,184 = 5,6 \text{ В} \quad (26)$$

Относительные падения напряжения на выводах нагрузки в точках 2, 3 соответственно определяются как

$$\Delta u_2 = (u_{к0} + u_{к1}) \frac{100}{U_{н.ном}/\sqrt{3}} = \frac{3,5+1,2}{400/\sqrt{3}} * 100 = 0,68\% \leq 5\% \quad (26)$$

$$\Delta u_3 = (u_{K0} + u_{K2}) \frac{100}{U_{н.ном}/\sqrt{3}} = \frac{3.5+5.6}{400/\sqrt{3}} * 100 = 1,31\% \leq 5\% \quad (27)$$

Б. Режим пуска электродвигателя.

Расчетный ток в кабеле 0 в пусковом режиме.

$$I_{B0}^{\Pi} = I_{д.п} + I_{B2} = 158,3 + 14,59 = 172,89 \text{ A} \quad (28)$$

Падение напряжения во время пуска в кабеле 0.

$$u_{K0}^{\Pi} = Z_{K0} * I_{B0}^{\Pi} = 172,89 * 0,0961 = 16,6 \text{ В} \quad (29)$$

Падение напряжения во время пуска в кабеле 1.

$$u_{K1}^{\Pi} = Z_{K1} * I_{д.п} = 158,3 * 0,0585 = 9,3 \text{ В} \quad (30)$$

Относительное падение напряжения на выводах электродвигателя (в точке 2) во время пуска.

$$\Delta u_2^{\Pi} = (u_{K0}^{\Pi} + u_{K1}^{\Pi}) \frac{100}{U_{н.ном} * \sqrt{3}} = \frac{16.6+9.3}{400 * \sqrt{3}} * 100 = 3,7 \leq 15\% \quad (31)$$

1.5 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

А. Трехфазное КЗ.

1. Точка 0.

На рисунке 1 изображена схема замещения при трехфазном коротком замыкании в точке 0.

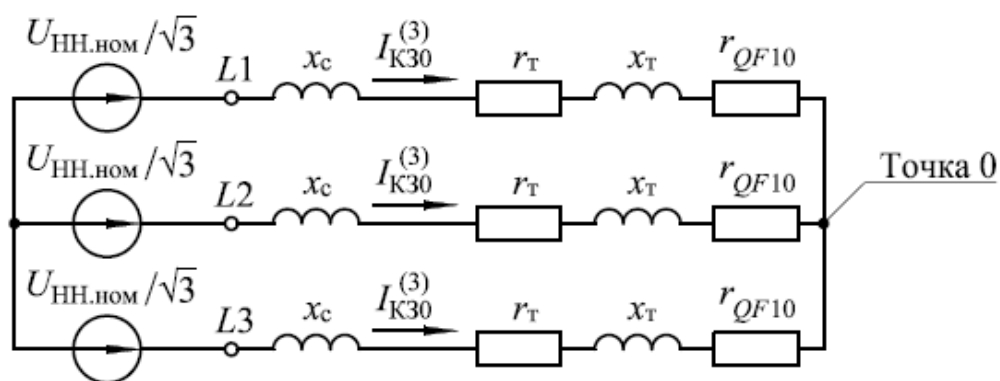


Рисунок 1 – Схема замещения при трехфазном коротком замыкании в точке 0.

Трехфазное короткое замыкание симметрично. Следовательно, ток по нейтрале не протекает. Действующее значение линейного тока при коротком замыкании в точке 0 в установившемся режиме.

$$I_{K30}^{(3)} = \frac{U_{H,НОМ}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 0}^2 + x_{\Sigma 0}^2}}$$

Где $r_{\Sigma 0}$ и $x_{\Sigma 0}$ – соответственно суммы активных и индуктивных сопротивлений фазы короткого замыкания от источника до точки 0. Находим, что номинальному току $I_{HH,НОМ}$ соответствует $r_{QF10} = 0,1$ мОм.

$$r_{\Sigma 0} = r_T + r_{QF10} = 0,1 + 5,9 = 6 \text{ мОм} \quad (32)$$

$$x_{\Sigma 0} = x_T + x_C = 0,8 + 17 = 17,8 \text{ мОм} \quad (33)$$

$$Z_{\Sigma 0} = \sqrt{r_{\Sigma 0}^2 + x_{\Sigma 0}^2} = \sqrt{6^2 + 17,8^2} = 18,8 \text{ мОм} \quad (34)$$

Тогда

$$I_{K30}^{(3)} = \frac{U_{H,НОМ}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 0}^2 + x_{\Sigma 0}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(36 \cdot 10^{-6} + 17,8^2 \cdot 10^{-6})}} = 12,29 \text{ кА} \quad (35)$$

2. Точка 1.

На рисунке 2 изображена схема замещения при трехфазном коротком замыкании в точке 1.

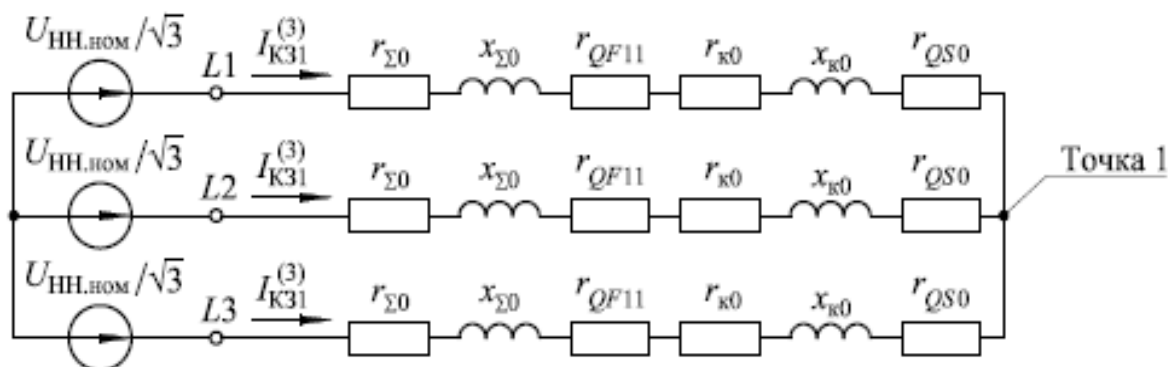


Рисунок 2 – Схема замещения при трехфазном коротком замыкании в точке 1.

Трехфазное короткое замыкание симметрично.

Действующее значение линейного тока при коротком замыкании в точке 1 в установившемся режиме.

$$I_{K31}^{(3)} = \frac{U_{H,НОМ}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 1}^2 + x_{\Sigma 1}^2}}$$

Где $r_{\Sigma 1}$ и $x_{\Sigma 1}$ – соответственно суммы активных и индуктивных сопротивлений фазы короткого замыкания от источника до точки 1. Находим, что номинальному току $I_{B0} = 35.7$ А соответствует $r_{QF11} = 2,9$ мОм и $r_{QS0} = 2,9$ мОм .

$$r_{\Sigma 1} = r_{\Sigma 0} + r_{QF11} + r_{к0} + r_{QS0} = 6 + 2,9 \cdot 2 + 96 = 107,8 \text{ мОм} \quad (36)$$

$$x_{\Sigma 1} = x_{\Sigma 0} + x_{к0} = 17,8 + 3,2 = 21 \text{ мОм} \quad (37)$$

$$Z_{\Sigma 0} = \sqrt{r_{\Sigma 1}^2 + x_{\Sigma 1}^2} = \sqrt{107,8^2 + 21^2} = 109,8 \text{ мОм} \quad (38)$$

Тогда

$$I_{K31}^{(3)} = \frac{U_{H,НОМ}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 1}^2 + x_{\Sigma 1}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(107,8^2 \cdot 10^{-6} + 21^2 \cdot 10^{-6})}} = 2,10 \text{ кА} \quad (39)$$

3. Точка 2.

Трехфазное короткое замыкание симметрично.

Действующее значение линейного тока при коротком замыкании в точке 2 в установившемся режиме.

$$I_{K32}^{(3)} = \frac{U_{H.HOM}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2}}$$

Где $r_{\Sigma 2}$ и $x_{\Sigma 2}$ – соответственно суммы активных и индуктивных сопротивлений фазы короткого замыкания от источника до точки 2. Находим, что номинальному току $I_{B1} = 21.1$ А соответствует $r_{QF1} = 4,8$ мОм и $r_{KM} = 4,8$ мОм

$$r_{\Sigma 2} = r_{\Sigma 1} + r_{QF1} + r_{k1} + r_{KM} = 107,8 + 4,8 \cdot 2 + 58,5 = 175 \text{ мОм} \quad (40)$$

$$x_{\Sigma 2} = x_{\Sigma 1} + x_{k1} = 21 + 0,9 = 21,9 \text{ мОм} \quad (41)$$

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2} = \sqrt{175^2 + 21,9^2} = 179,4 \text{ мОм} \quad (42)$$

$$I_{K32}^{(3)} = \frac{U_{H.HOM}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(175^2 \cdot 10^{-6} + 21,9^2 \cdot 10^{-6})}} = 1,31 \text{ кА} \quad (43)$$

Б. Однофазное КЗ.

1. Точка 1.

На рисунке 3 изображена схема замещения при однофазном коротком замыкании в точке 1.



Рисунок 3 – Схема замещения при однофазном коротком замыкании в точке 1.

Суммарные сопротивления цепи прямой последовательности от источника до точки 1.

$$r_{1\Sigma 1} = r_{\Sigma 1} = 107,8 \text{ мОм}$$

$$x_{1\Sigma 1} = x_{\Sigma 1} = 21 \text{ мОм}$$

Суммарные сопротивления цепи нулевой последовательности от источника до точки 1.

$$r_{0\Sigma 1} = r_{\Sigma 1} + 3 * r_{k0} = 107,8 + 3 * 96 = 395 \text{ мОм} \quad (44)$$

$$x_{0\Sigma 1} = (x_{\Sigma 1} - x_C) + 3 * x_{k0} = (21 - 0,8) + 3 * 3,2 = 29,8 \text{ мОм} \quad (45)$$

Расчетная формула для определения тока однофазного короткого замыкания в точке 1.

$$I_{K31}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} * U_{HH.HOM}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma 1} + r_{0\Sigma 1})^2 + (2x_{1\Sigma 1} + x_{0\Sigma 1})^2}} = \frac{\sqrt{3} * 400}{\sqrt{10^{-6}((2 * 107,8 + 395)^2 + (2 * 21 + 29,8)^2)}} = 1,13 \text{ Ка} \quad (46)$$

2. Точка 2.

Суммарные сопротивления цепи прямой последовательности от источника до точки 2.

$$r_{1\Sigma 2} = r_{\Sigma 2} = 175 \text{ мОм} \quad (47)$$

$$x_{1\Sigma 2} = x_{\Sigma 2} = 21,9 \text{ мОм} \quad (48)$$

Суммарные сопротивления цепи нулевой последовательности от источника до точки 2.

$$r_{0\Sigma 2} = r_{\Sigma 2} + 3 * (r_{k0} + r_{k1}) = 175 + 3 * (96 + 58,5) = 638,5 \text{ мОм} \quad (49)$$

$$x_{0\Sigma 2} = x_{\Sigma 2} + 3 * (x_{k0} + x_{k1}) = 21,8 + 3 * (3,2 + 0,9) = 34,1 \text{ мОм} \quad (50)$$

Расчетная формула для определения тока однофазного короткого замыкания в точке 2.

$$I_{K32}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} * U_{HH.HOM}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma 2} + r_{0\Sigma 2})^2 + (2x_{1\Sigma 2} + x_{0\Sigma 2})^2}} = \frac{\sqrt{3} * 400}{\sqrt{10^{-6}((2 * 175 + 638,5)^2 + (2 * 21,9 + 34,1)^2)}} = 0,70 \text{ кА} \quad (51)$$

3. Точка 3.

Суммарные сопротивления цепи прямой последовательности от источника до точки 3.

$$r_{1\Sigma 3} = r_{\Sigma 3} = r_{\Sigma 1} + r_{k2} = 107,8 + 184 = 291,8 \text{ мОм} \quad (52)$$

$$x_{1\Sigma 3} = x_{\Sigma 3} = x_{\Sigma 1} + x_{k2} = 21 + 1,94 = 22,9 \text{ мОм} \quad (53)$$

$$Z_{\Sigma 3} = \sqrt{r_{\Sigma 3}^2 + x_{\Sigma 3}^2} = \sqrt{291,8^2 + 22,9^2} = 292,7 \text{ мОм} \quad (54)$$

Суммарные сопротивления цепи нулевой последовательности от источника до точки 3.

$$r_{0\Sigma 3} = r_{\Sigma 3} + 3 * (r_{k0} + r_{k2}) = 292,7 + 3 * (96 + 184) = 1132,7 \text{ мОм} \quad (55)$$

$$x_{0\Sigma 2} = x_{\Sigma 3} + 3 * (x_{k0} + x_{k2}) = 22,9 + 3 * (3,2 + 1,94) = 38,3 \text{ мОм} \quad (56)$$

Расчетная формула для определения тока однофазного короткого замыкания в точке 3.

$$I_{K33}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн.ном}}}{\sqrt{(2\Gamma_{1\Sigma 3} + \Gamma_{0\Sigma 3})^2 + (X_{1\Sigma 3} + X_{0\Sigma 3})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{10^{-6}((2 \cdot 291,8 + 1132)^2 + (2 \cdot 22,9 + 38,3)^2)}} = 0,40 \text{ кА} \quad (57)$$

Проверка выполнения соотношений.

$$I_{K30}^{(3)} > I_{K31}^{(3)} > I_{K32}^{(3)} \quad (58)$$

$$12,29 > 2,10 > 0,98 \text{ (кА)}$$

$$I_{K31}^{(1)} > I_{K32}^{(1)}, I_{K33}^{(1)} \quad (59)$$

$$1,13 > 0,52 > 0,40 \text{ (кА)}$$

$$\frac{I_{K31}^{(3)}}{I_{K31}^{(1)}} = (1,7 \dots 2) \quad (60)$$

$$\frac{2,10}{1,13} = 1,86 \quad (61)$$

$$\frac{I_{K32}^{(3)}}{I_{K32}^{(1)}} = (1,7 \dots 2) \quad (62)$$

$$\frac{1,31}{0,69} = 1,87 \quad (63)$$

Таблица 2 – Расчетные значения токов короткого замыкания.

Точка	0	1	2	3
$I_{K3}^{(3)}$, кА	12,29	2,1	1,31	—
$I_{K3}^{(1)}$, кА	—	1,13	0,69	0,4

— Расчет не проводился.

2. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ.

2.1 ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ QF2...QF4.

Для линии с однофазной нагрузкой выбираем модульные автоматические выключатели. Выключатели QF2, QF3, QF4 полностью идентичны, поэтому для краткости приводим рассуждения только для QF2.

Аппарат QF2 выполняет следующие функции.

1. Работу в сети переменного тока АС.
2. Работу в сети с заданным напряжением между фазным и нулевым проводником, для этого его номинальное рабочее напряжение должно удовлетворять соотношению.

$$U_{e.QF2} \geq \frac{U_{HH.ном}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{e.QF2} \geq \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ В}$$

2. Длительное протекание рабочих токов нагрузки, для этого необходимо, чтобы его номинальный ток был не меньше расчетного тока кабеля 2.

$$I_{n.QF2} \geq I_{B2}$$

$$I_{n.QF2} \geq 15.3 \text{ А}$$

3. Защиту кабеля 2. Для этого его номинальный ток должен быть не больше чем длительно допустимый ток кабеля 2.

$$I_{n.QF2} \leq I_{Z2}$$

$$I_{n.QF2} \leq 27 \text{ А}$$

4. Защиту кабеля 2 при помощи мгновенного срабатывания в случае возникновения коротких замыканий в точках системы, расположенных ниже QF2 на однолинейной схеме электроснабжения.

$$\max(I_{i.QF2}) \leq I_{K33}^{(1)}$$

$$\max(I_{i.QF2}) \leq 0.4 \text{ кА}$$

5. Кратковременное протекание максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания.

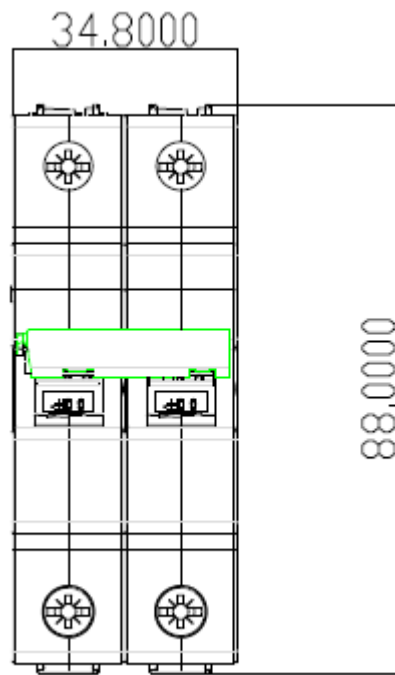
$$I_{CS.QF2} \geq I_{K31}^{(3)}$$

$$I_{CS.QF2} \geq 2.1 \text{ кА}$$

6. Согласно однолинейной схеме электроснабжения автомат должен иметь 2 полюса. Выбираем исполнение 2Р.

Таблица 3 – К выбору автоматического выключателя QF2.

	Сеть			Аппарат	
1	Род тока	АС	=	Род тока главной цепи	АС
2	Число коммутируемых проводников	2	=	Кол-во полюсов	2
3	Номинальное напряжение сети фаза-нейтраль $U_{\text{НН.ном}}/\sqrt{3}$, В	230,9	\leq	Номинальное рабочее напряжение, $U_{\text{е.QF2}}$, В	230
4	Ток трехфазного КЗ в точке 1 $I_{\text{КЗ1}}^{(3)}$, кА	2,1	\leq	Ном. рабочая наибольшая отключающая способность, $I_{\text{CS.QF2}}$, кА	15
5	Ток однофазного КЗ в точке 3 $I_{\text{КЗ3}}^{(1)}$, кА	0,4	\geq	Макс. значение диапазона токов мгновенного расцепления, $I_{\text{i.QF2}}$, кА	Тип хар-ки мгнов. расц. С $\max((5 \dots 10) I_{\text{n}})$
6	Расчетный ток нагрузки I_{B2} , А	15,3	\leq	Номинальный ток $I_{\text{n.QF2}}$, А	16
7	Длительно допустимый ток кабеля 2 I_{Z2} , А	27	\geq		
Необходимым критериям удовлетворяет модульный автоматический выключатель S202-C16.					



(a)



(б)

Рисунок 4 – Общий вид (а) и габаритные размеры (б) автоматического выключателя S202-C16.

2.2 ВЫБОР ВДТ (УЗО) FD2.

Устройства ВДТ должны выполнять следующие функции.

1. Работу в сети переменного тока АС.
2. Работу в сети с заданным напряжением между фазным и нулевым проводником, для этого его номинальное рабочее напряжение должно удовлетворять соотношению.

$$U_{e.FD2} \geq \frac{U_{HH.ном}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{e.FD2} \geq \frac{400}{\sqrt{3}} = 230.9 \text{ В}$$

3. Мгновенное расцепление при возникновении синусоидального и пульсирующего постоянного дифференциальных токов. Для обеспечения этого требования необходимо выбрать устройство дифференциальной защиты типа А или типа В.
4. Длительное протекание рабочих токов нагрузки, для этого необходимо, чтобы его номинальный ток был не меньше расчетного тока кабеля 2.

$$I_{n.FD2} \geq I_{B2}$$

$$I_{n.FD2} \geq 15.3 \text{ A}$$

5. Мгновенное срабатывание при возникновении дифференциального тока заданного значения.

$$I_{\Delta n.FD2} \leq 30 \text{ mA}$$

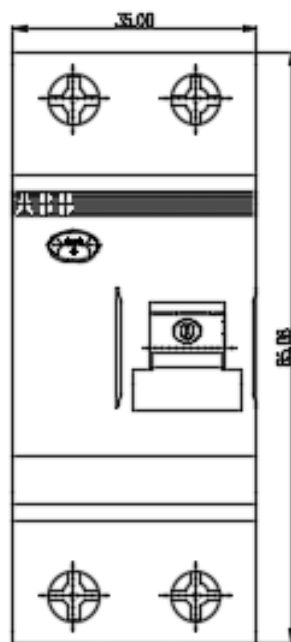
6. Согласно однолинейной схеме электроснабжения автомат должен иметь 2 полюса. Выбираем исполнение 2Р.

Так же необходимо выполнить следующее соотношение для защиты ВДТ от сверхтоков.

$$I_{n.FD2} \geq I_{n.QF2}$$

Таблица 4 – К выбору выключателя дифференциального тока FD2.

Сеть			Аппарат		
1	Род дифференциального тока	AC и пульс. DC	=	Тип по рабочей хар-ке при дифф. Токах с постоянной составляющей	A
2	Номинальное напряжение сети фаза-нейтраль $U_{HH.ном}/\sqrt{3}$, В	230,9	≤	Номинальное рабочее напряжение, $U_{e.FD2}$, В	230- 240
3	Род тока	AC	=	Род тока главной цепи	AC
4	Частота сети, Гц	50	=	Номинальная частота, Гц	50...60
5	Число коммутируемых проводников	2	=	Кол-во полюсов	2
6	Максимально допустимое значение дифференциального тока, mA	30	≥	Номинальный отключающий дифференциальный ток, $I_{\Delta n.FD2}$, mA	30
7	Расчетный ток нагрузки I_{B2} , A	15,3	≤	Номинальный ток $I_{n.FD2}$, A	25
Необходимым критериям удовлетворяет ВДТ F202 A-25/0.03.					



(a)



(б)

Рисунок 5 – Общий вид (а) и габаритные размеры (б) ВДТ F202 А-25/0.03.

2.3 ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ В ЛИНИЮ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ QF1.

В общем случае автоматический выключатель для защиты электродвигателя должен обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.
2. Коммутацию необходимого числа проводников, для чего должен иметь трёхполюсное исполнение 3Р.
3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением, для чего его номинальное рабочее напряжение должно удовлетворять условию:

$$U_{e.QF1} \geq U_{нн.ном}$$

$$U_{e.QF1} \geq 400 \text{ В}$$

4. Защиту кабеля 1 и электродвигателя при помощи мгновенного срабатывания в случае возникновения коротких замыканий в точках системы, расположенных ниже QF1 на однолинейной схеме электроснабжения, для чего необходимо, чтобы уставка тока

срабатывания расцепителя мгновенного действия была не больше, чем ток однофазного короткого замыкания в точке 2.

$$I_{i.QF1} \leq I_{K32}^{(1)}$$

$$I_{i.QF1} \leq 0.69 \text{ кА}$$

5. Возможность пуска электродвигателя. Для этого необходимо, чтобы уставка тока срабатывания расцепителя мгновенного действия I_i превышала пусковой ток электродвигателя.

$$I_{i.QF1} \geq I_{д.п}$$

$$I_{i.QF1} \geq 158,3 \text{ А}$$

6. Кратковременное протекание максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания. Для автоматического выключателя QF1 наиболее тяжёлым режимом является возникновение трёхфазного короткого замыкания непосредственно на его выводах (в месте присоединения кабеля 1 к QF1), так как в этом случае ожидаемы ток короткого замыкания, протекающий через QF1, принимает максимально возможное в данной схеме значение. Пренебрегая внутренним сопротивлением автоматического выключателя QF1, за ожидаемый ток трёхфазного короткого замыкания на его выводах принимается ток трёхфазного короткого замыкания в точке 1. Таким образом, для надёжной работы автоматического выключателя QF1 необходимо, чтобы его номинальная рабочая наибольшая отключающая способность удовлетворяла условию:

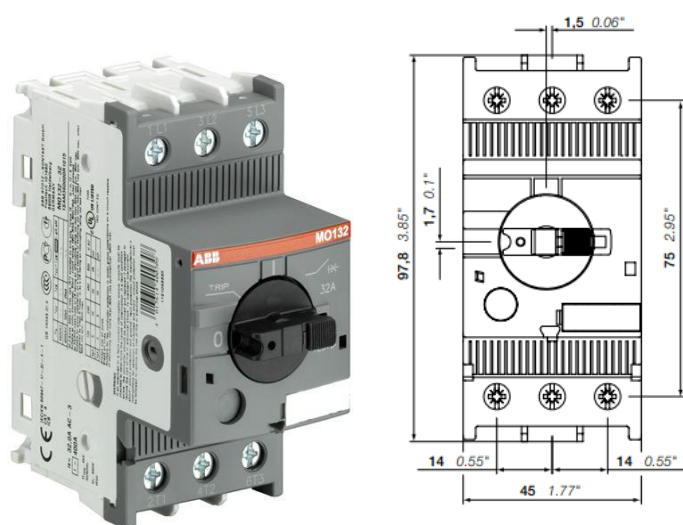
$$I_{cs.QF1} \geq I_{K31}^{(3)}$$

$$I_{cs.QF1} \geq 2.1 \text{ кА}$$

Таблица 5 – К выбору автоматического выключателя в линию с электродвигателем QF1.

	Сеть			Аппарат	
1	Частота сети, Гц	50	=	Номинальная частота, Гц	50
2	Число коммутируемых проводников	3	=	Кол-во полюсов	3
3	Номинальное напряжение сети, $U_{нн.ном}$, В	400	≤	Номинальное рабочее напряжение $U_{e.QF1}$, В	400

4	Ток трехфазного КЗ в т. 1, $I_{K31}^{(3)}$, кА	2,1	\leq	Ном. рабочая отключающая способность $I_{cs.QF1}$, кА	50
5	Ток однофазного КЗ в т. 2, $I_{K32}^{(1)}$, кА	0,69	$>$	Уставка тока срабатывания расцепителя мгновенного действия, $I_{i.QF1}$, кА	0,312
6	Пусковой ток электродвигателя $I_{д.п}$, кА	0,1583	$<$		
Необходимым критериям удовлетворяет автоматический выключатель защиты электродвигателя MO132-25					



(а)

(б)

Рисунок 5 – Общий вид (а) и габаритные размеры (б) автоматического выключателя защиты электродвигателя MO132-25.

2.4 ВЫБОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТАКТОРА КМ.

Контактор КМ должен обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.
2. Три силовых контакта и один вспомогательный.
3. Работу в цепи с заданным номинальным напряжением.

$$U_{e.КМ} \geq U_{НН.ном}$$

$$U_{e.КМ} \geq 400 \text{ В}$$

4. Работу цепи управления, для чего номинальное напряжение катушки должно соответствовать фазному напряжению сети.

$$U_{ц.у} \geq \frac{U_{НН.ном}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{ц.у} \geq 230 \text{ В}$$

5. Заданную производителем коммутационную износостойкость. Для этого необходимо чтобы:

5.1. Отключаемый контактором ток электродвигателя был не больше чем номинальный рабочий ток контактора для категории применения АС3.

$$I_{e.КМ}^{AC3} \geq I_{д.ном}$$

$$I_{e.КМ}^{AC3} \geq 21.1 \text{ А}$$

5.2. Действующее значение периодической составляющей включаемого контактором тока при пуске электродвигателя не превышало шестикратный номинальный рабочий ток контактора для категории применения АС3.

$$6 * I_{e.КМ}^{AC3} \geq I_{д.п}$$

$$I_{e.КМ}^{AC3} \geq \frac{158,3}{6} = 52,7 \text{ А}$$

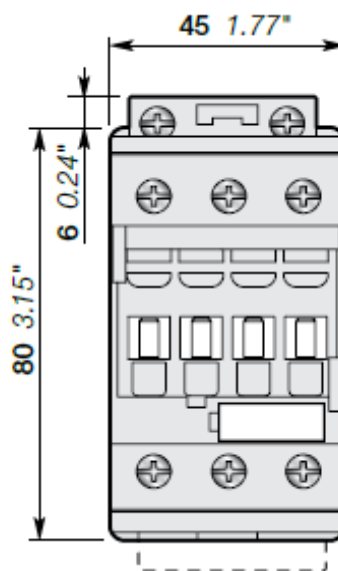
Таблица 6 – К выбору контактора КМ.

	Исходные данные				Аппарат	
Главная цепь						
1	Частота сети, Гц	50	=	Ном. частота, Гц	50	
2	Число коммутируемых проводников	3	=	Количество главных НО контактов(полюсов)	3	
3	Номинальное напряжение сети, $U_{НН.ном}$, В	400	\leq	Номинальное рабочее напряжение, $U_{е.КМ}$, В	400	
4	Номинальный ток электродвигателя, $I_{д.ном}$, А	21,1	\leq	Номинальный рабочий ток для категории применения АС3, $I_{е.КМ}^{АС3}$, А	32	

5	Пусковой ток электродвигателя, I _{д.п} , А	158,3	≤	Шестикратный номинальный рабочий ток для категории применения АСЗ, 6 * I _{е.КМ} ^{АСЗ} , А	192
Цепь управления					
6	Частота сети, Гц	50	=	Ном. частота цепи управления, Гц	50
7	Напряжение цепи управления, U _{ц.у} , В	230	∈	Ном. напряжение катушки управления, U _с , В	100- 250
Вспомогательная цепь					
8	Необходимое кол-во вспомогательных, НО контактов в соответствии со схемой пуска	1	≤	Кол-во встроенных в контактор вспомогат. НО контактов	0
				Кол-во НО контактов у вспомогательных контактных блоков	1
Необходимым критериям удовлетворяет электромагнитный контактор АВВ АF30-30-00-13 с дополнительным контактным блоком СAЛ4-11.					



(а)



(б)

Рисунок 5 – Общий вид (а) и габаритные размеры (б) контактора AF30-30-00-13.

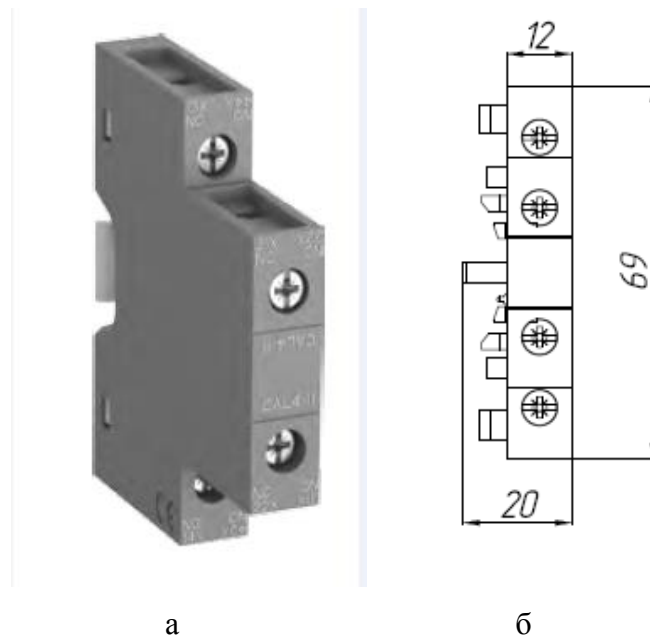


Рисунок 6 – Общий вид (а) и габаритные размеры (б) дополнительного контактного блока CAL4-11.

2.5 ВЫБОР ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ КК.

Тепловое реле КК должно обеспечивать.

1. Возможность работы в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.
2. Номинальное рабочее напряжение главной цепи U_e не меньше, чем номинальное напряжение сети

$$U_{e.KK} \geq U_{HH.ном}$$

$$U_{e.KK} \geq 400 \text{ В.}$$

3. Возможность защиты электродвигателя с номинальным током для чего он должен входит в диапазон настроек уставок тока срабатывания теплового реле

$$I_{r.min} \leq I_{д.ном} \leq I_{r.max}$$

$$I_{r.min} \leq 21.1 \text{ А} \leq I_{r.max}$$

4. Защиту отходящего кабеля 1 в случае превышения потребляемым электродвигателем током длительно допустимого тока кабеля. Для этого необходимо, чтобы выбранная ранее уставка тока срабатывания теплового расцепителя была не больше, чем длительно допустимый ток кабеля

$$I_{г.КК} \leq I_{z1}$$

$$I_{г.КК} \leq 35 \text{ A.}$$

5. Минимум один вспомогательный НЗ контакт для обеспечения возможности включения его в цепь управления и защиты двигателя.
6. Типоразмер, обеспечивающий возможность монтажа на выбранную ранее модель контактора КМ.
7. Класс расцепления 10, для обеспечения возможности пуска электродвигателя в нормальных условиях.

Таблица 7 – К выбору теплового реле КК.

	Исходные данные				Аппарат	
Главная цепь						
1	Частота сети, Гц	50	=	Ном. частота, Гц	50	
2	Номинальное напряжение сети, $U_{\text{НН.ном}}$, В	400	\leq	Ном. рабочее напряжение, $U_{\text{е.кк}}$, В	400	
3	Номинальный ток электродвигателя, $I_{\text{д.ном}}$, А	21,1	\approx	Уставка срабатывания $I_{\text{г.кк}}$, А (Диапазон уставок $I_{\text{г.мин}} \dots I_{\text{г.макс}}$, А	22 (20...24)	
4	Длительно доп. ток, I_{z1} А	35,5	\geq			
Вспомогательная цепь						
5	Кол-во вспомог. НЗ контактов по схеме пуска	1	\leq	Кол-во встроенных НЗ контактов	1	
Конструктивное исполнение						
6	Тип контактора	AF26	\leftrightarrow	Тип теплового реле	TF42	
Необходимым критериям удовлетворяет тепловое реле ABB TF42-24 класс расцепления 10.						

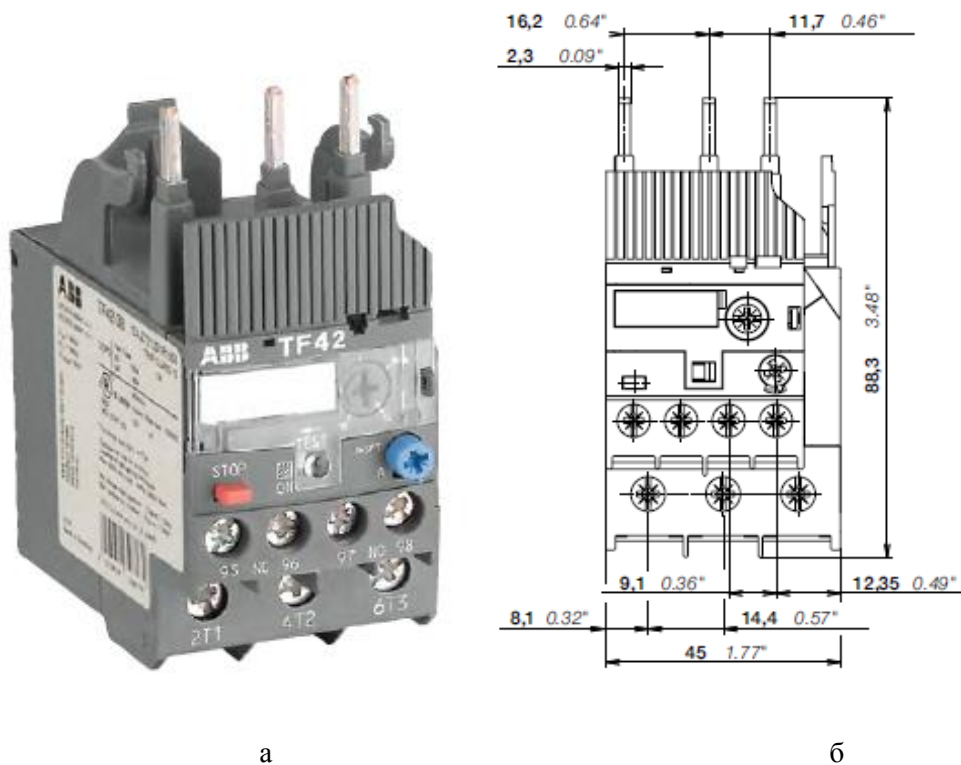


Рисунок 7 – Общий вид (а) и габаритные размеры (б) теплового реле TF-42-24.

2.6 ВЫБОР ПЛАВКОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ В ЦЕПЬ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ FU.

В рамках курсового проекта защита катушки контактора от сверхтоков осуществляется при помощи плавкого предохранителя FU. Для обеспечения этой функции плавкий предохранитель должен обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока АС.
2. Работу в цепи управления с заданным напряжением.

$$U_{e.FU} \geq U_{ц.у}$$

$$U_{e.FU} \geq 230 \text{ В}$$

3. Значение номинальной отключающей способностью не меньшей, чем ток однофазного короткого замыкания в точке 1 системы.

$$I_{сп.FU} \geq I_{K31}^{(3)}$$

$$I_{сп.FU} \geq 2.1 \text{ кА}$$

4. Обладать номинальным током не меньшим, чем ток, потребляемый катушкой контактора КМ при удержании.

$$I_{n.FU} \geq I_{к.у}$$

$$I_{к.у} = \frac{S_{к.у}}{U_{ц.у}} = \frac{2.2}{230} = 9,5 \text{ мА}$$

$$I_{n.FU} \geq 9,5 \text{ мА}$$

Таблица 8 – К выбору плавкого предохранителя FU.

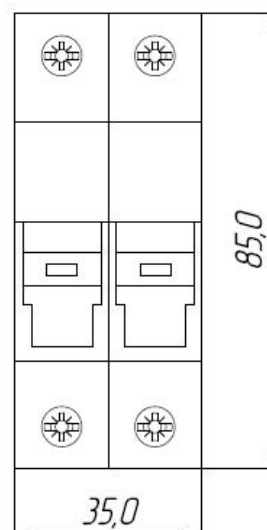
Исходные данные			Аппарат		
1	Род тока сети	АС	=	Род тока	АС
2	Номинальное напряжение сети, $U_{ц.у}$, В	230	\leq	Ном. напряжение плавкой вставки, $U_{е.FU}$, В	230
3	Ток трехфазного КЗ в т.1, $I_{КЗ1}^{(3)}$, кА	2,1	\approx	Номинальная отключающая способность, $I_{сп.FU}$, кА	20
4	Ток потребляемый катушкой контактора при удержании, $I_{к.у}$, мА	9,5	\geq	Ном. ток плавкой вставки, $I_{н.FU}$, А	0,5
Необходимым критериям удовлетворяет цилиндрический плавкий предохранитель АВВ Е 9F10 GG05 10,3×38 мм и держатель предохранителя с функцией разъединителя АВВ Е92/32.					



а



б



в

Рисунок 8 – Общий вид цилиндрического плавкого предохранителя АBB Е 9F10 GG05 (а).
 Общий вид держателя предохранителя с функцией разъединителя АBB Е92/32 (б) и его габаритные размеры (в).

2.7 ВЫБОР КНОПОК В ЦЕПЬ УПРАВЛЕНИЯ SB1 И SB2.

В цепь управления необходимо выбрать две кнопки — пуск SB1 и стоп SB2.

Основные критерии выбора кнопок следующие:

1. Возможность работы в сети переменного тока АС.
2. Номинальное напряжение изоляции контакта кнопки должно быть не меньше, чем напряжение цепи управления контактора.

$$U_{i.SB} \geq U_{ц.у}$$

$$U_{i.SB} \geq 230 \text{ В}$$

3. Номинальный рабочий ток I_e при напряжении $U_{ц.у}$ должен быть не меньше, чем потребляемы катушкой контактора ток.

$$I_{e.SB} \geq I_{к.у}$$

$$I_{e.SB} \geq 9,5 \text{ мА}$$

4. Кнопка пуск должна иметь минимум 1 НО контакт, кнопка стоп — минимум 1 НЗ контакт.
5. Исполнение кнопок — без фиксации (возвратные).
6. Кнопка «Пуск» - зеленого цвета. Кнопка «Стоп» - красного цвета.

Таблица 9 – К выбору кнопки SB1.

Исходные данные			Аппарат		
1	Род тока цепи управления	АС	=	Род тока	АС
2	Номинальное цепи управления, $U_{ц.у}$, В	230	\leq	Ном. напряжение изоляции, $U_{e.SB1}$, В	690
3	Ток, потребляемый катушкой контактора при удержании, $I_{к.у}$, мА	9,5	\leq	Номинальный рабочий ток, I_e (при напряжении $U_{ц.у}$), А	6
4	Необходимое кол-во НО контактов по схеме управления	1	\leq	Кол-во НО контактов	1 (МСВ-10)

5	Необходимость фиксации	Нет	=	Исполнение	Без фикс.
6	Требуемый цвет для кнопки «Пуск»	Зел.	=	Цвет кнопки	Зел.
Необходимым критериям удовлетворяет кнопка ABB MP1-10G с контактным блоком МСВ-10					



а



б

Рисунок 9 – Общий вид кнопки пуск ABB MP1-10G (а) и контактного блока с одним НО контактом МСВ-10 (б).

Таблица 10 – К выбору кнопки SB2.

	Исходные данные			Аппарат	
1	Род тока цепи управления	АС	=	Род тока	АС
2	Номинальное цепи управления, $U_{ц.у}, В$	230	\leq	Ном. напряжение изоляции, $U_{е.СВ1}, В$	690
3	Ток, потребляемый катушкой контактора при удержании, $I_{к.у}, мА$	9,5	\leq	Номинальный рабочий ток, I_e (при напряжении $U_{ц.у}$), А	6
4	Необходимое кол-во НЗ контактов по схеме управления	1	\leq	Кол-во НЗ контактов	1 (МСВ-01)
5	Необходимость фиксации	Нет	=	Исполнение	Без фикс.
6	Требуемый цвет для кнопки «Стоп»	Красн.	=	Цвет кнопки	Красн.
Необходимым критериям удовлетворяет кнопка ABB MP1-10R с					

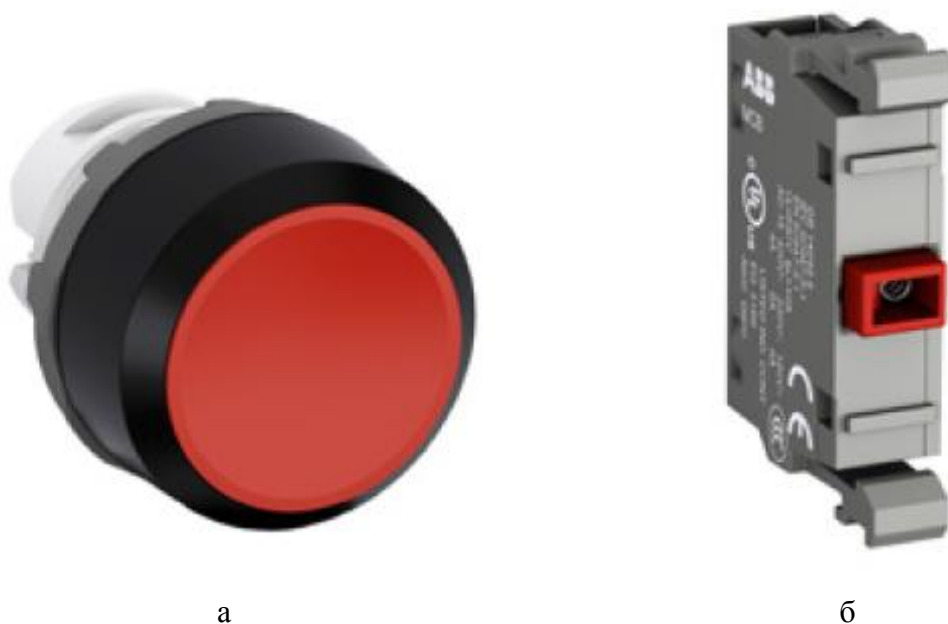


Рисунок 10 – Общий вид кнопки пуск АВВ МР1-10R (а) и контактного блока с одним НЗ контактом МСВ-01 (б).

2.8 ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ-РАЗЪЕДИНИТЕЛЯ QS0.

В рамках курсового проекта выключатель-разъединитель должен обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока АС.
2. Коммутацию необходимого в соответствии с однолинейной схемой числа проводников, для чего должен иметь трёхполюсное исполнение.
3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением.

$$U_{e.QS0} \geq U_{HH.ном}$$

$$U_{e.QS0} \geq 400 \text{ В.}$$

4. Возможность коммутации высоко индуктивной нагрузки, что связано с тем, что через QS0 проходит ток асинхронного электродвигателя двигателя, являющегося нагрузкой с низким коэффициентом мощности. Для этого необходимо, чтобы номинальный рабочий ток I_e для категории применения АС – 23А, соответствующий напряжению, $U_{HH.ном}$ был не меньше, чем расчётный ток в кабеле 0.

$$I_{e.QS0}^{AC23} \geq I_{BO}$$

$$I_{e.QS0}^{AC23} \geq 36.4 \text{ А.}$$

5. Кратковременное пропускание тока короткого замыкания. Для количественной оценки этой характеристики необходимо рассчитать время, в течение которого выключатель разъединитель QS0 способен выдерживать протекание через себя максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания. Расчёт проводится с использованием интеграла Джоуля и в рамках курсового проекта сводится к следующему соотношению:

$$t_{\text{дQS0}} = \left(\frac{I_{\text{св}}}{I_{\text{к31}}^{(3)}} \right)^2 * t_{\text{св}}$$

$$t_{\text{дQS0}} = \left(\frac{1}{2,1} \right)^2 * 1 = 227 \text{ мс}$$

Таблица 11 – К выбору QS0.

	Исходные данные			Аппарат	
1	Род тока сети	АС	=	Род тока	АС
2	Количество разрываемых проводников	3	=	Кол-во полюсов	3
3	Номинальное напряжение сети, $U_{\text{нн.ном}}$, В	400	\leq	Ном. рабочее напряжение $U_{\text{е.QS0}}$, В	750
4	Расчетный ток в кабеле $I_{\text{во}}$, А	36,4	\leq	Ном. рабочий ток по кат. АС–23А, $I_{\text{е.QS0}}^{\text{АС23}}$, А	45
5	Ток трёхфазного КЗ в т. 1, $I_{\text{к31}}^{(3)}$, кА	2,1	\rightarrow	Допустимое время протекания тока КЗ по формуле () $t_{\text{дQS0}}$, мс	227
Необходимым критериям удовлетворяет разъединитель ОТ63ФЗ.					

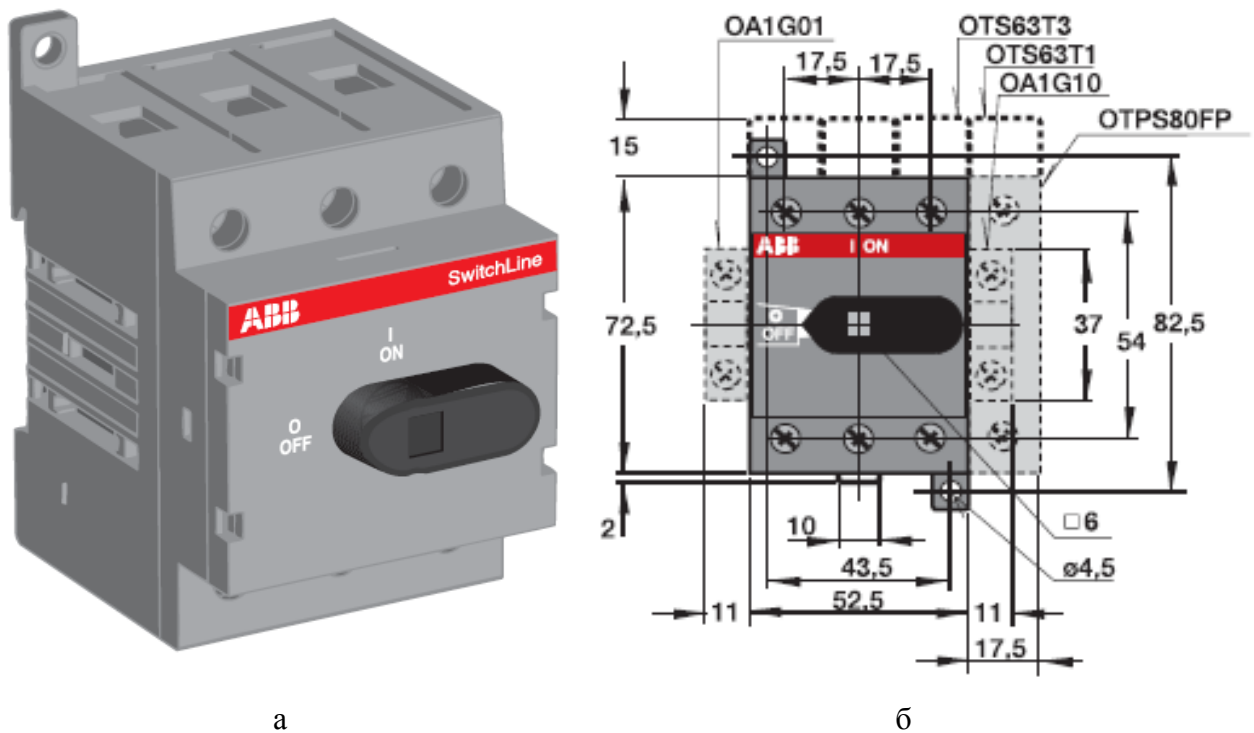


Рисунок 11 – Общий вид разъединителя OT63F3 (а) и габаритные размеры(б).

2.9 ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ QF11.

Автоматический выключатель QF11 должен обеспечивать.

1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.
2. Коммутацию необходимого числа проводников, для чего должен иметь трёхполюсное исполнение 3Р.
3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением, для чего его номинальное рабочее напряжение должно удовлетворять условию

$$U_{e.QF11} \geq U_{HH.ном}$$

$$U_{e.QF11} \geq 400 \text{ В.}$$

4. Длительное пропускание через себя расчётного тока. Для этого номинальный длительный ток I_u (или номинальный ток I_n , или условный тепловой ток на открытом воздухе I_{th}) автоматического выключателя должен быть не меньше расчётного тока в линии, где установлен данный аппарат

$$I_{u.QF11} \geq I_{Bo}$$

$$I_{u.QF11} \geq 36.4 \text{ А}$$

5. Кратковременное протекание максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания.

$$I_{CS.QF11} \geq I_{K30}^{(3)}$$

$$I_{CS.QF11} \geq 12,29 \text{ кА}$$

6. Защиту кабеля 0 в случае превышения протекающим через него током длительно допустимого значения, а также длительное пропускание расчётного тока кабеля.

$$I_{BO} \leq I_{r.QF11} \leq I_{Z0}$$

$$36.4 \text{ А} \leq I_{r.QF11} \leq 55 \text{ А}$$

7. Защиту кабеля 0 и выключателя-разъединителя QS0 от коротких замыканий, а также селективную работу с нижестоящими автоматическими выключателями.

$$I_{sd.QF11} \leq I_{K31}^{(1)}$$

$$I_{sd.QF11} \leq 1.13 \text{ кА}$$

$$t_{sd.QF11} \leq t_{dQS0}$$

$$t_{sd.QF11} \leq 227 \text{ мс}$$

Таблица 12 – К выбору QF11.

Исходные данные			Аппарат		
1	Частота сети, Гц	50	=	Ном. частота, Гц	50
2	Число коммутируемых проводников	3	=	Кол-во полюсов	3
3	Ном. напряжение сети, $U_{HH.ном}$, В	400	\leq	Номинальное рабочее напряжение, $U_{e.QF1}$, В	690
4	Расчетный ток кабеля 0, I_{BO} , А	36,4	\leq	Ном. длительный ток авт. выкл. $I_{u.QF1}$, А	160
			\leq	Номинальный ток расцепления I_n , А	63
			\leq	Функция L: уставка I_1 , А	0,64
5	Длительно допустимый ток кабеля 0, I_{Z0} , А	55	\geq	Диапазон: $(0,4 \dots 1) \cdot I_n$ шаг $0,04 \cdot I_n$	$\cdot I_n$ $= 40.3$
6	Ток однофазного КЗ в т.1, $I_{K31}^{(1)}$, кА	1,13	\geq	Функция S: уставка I_2 , А	$8 \cdot I_n$ $= 504$

7	Доп. время протекания тока КЗ через QSO $t_{d.QSO}$, с	227	\geq	Функция S: уставка t_2 , с	0,1
8	Ток трехфазного КЗ в т. 0 $I_{K30}^{(3)}$, кА	12,2 9	\leq	Ном. рабочая наибольшая отключающая способность, $I_{cs.QF11}$, кА	36
<p>Необходимым условиям удовлетворяет автоматический выключатель ABB XT2N 160 3P с электронным расцепителем Ekip LS/I In=63 с настройками:</p> <p>L: $I1 = 0,6 \cdot I_n$; $t1 = 36$ с;</p> <p>S: $I2 = 8 \cdot I_n$; $t2 = 0,1$ с;</p> <p>I: отключена.</p>					



а



б

Рисунок 12 – Общий вид автоматического выключателя в литом корпусе ABB XT2N 160 3P (а) с электронным расцепителем Ekip LS/I In=63 (б).

2.10 ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ QF10.

В качестве аппарата, устанавливаемого под трансформатор, рекомендуется выбирать автоматический выключатель в литом корпусе, который должен обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.
2. Коммутацию необходимого числа проводников, для чего должен иметь трёхполюсное исполнение 3Р.
3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением, для чего его номинальное рабочее напряжение должно удовлетворять условию

$$U_{e.QF10} \geq U_{HH.ном}$$

$$U_{e.QF10} \geq 400 \text{ В.}$$

4. Длительное пропускание через себя расчётного тока. Для этого номинальный длительный ток I_u (или номинальный ток I_n , или условный тепловой ток на открытом воздухе I_{th}) выключателя должен быть не меньше номинального тока обмотки низшего напряжения трансформатора $I_{HH.ном}$

$$I_{u.QF10} \geq I_{HH.ном}$$

$$I_{u.QF10} \geq 577,4 \text{ А}$$

5. Кратковременное протекание максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания.

$$I_{cs.QF10} \geq I_{K30}^{(3)}$$

$$I_{cs.QF10} \geq 12,29 \text{ кА}$$

6. Защиту трансформатора от перегрузки, а также длительное пропускание номинального тока обмотки низшего напряжения трансформатора $I_{HH.ном}$. Значение уставки $I_{r.QF10}$ должно быть близко к номинальному току обмотки низшего напряжения, но не превышать его.

$$I_{r.min} \leq I_{HH.ном} \leq I_{r.max}$$

$$I_{r.min} \leq 577,4 \text{ А} \leq I_{r.max}$$

при этом из диапазона $I_{r.min} \dots I_{r.max}$ необходимо выбрать конкретное значение тока уставки $I_{r.QF10}$, которое должно быть как можно ближе к номинальному току обмотки низшего напряжения трансформатора, но не превышать его. Шаг регулирования $I_{r.QF10}$ приводится в технической литературе на расцепитель.



а



б

Рисунок 13 – Общий вид автоматического выключателя в литом корпусе ABB T5N 630 3P (а) с электронным расцепителем PR221DS In=630 (б).

2.11 ВЫБОР КЛЕММ.

Клеммы предназначены для присоединения проводов из меди и алюминиевых сплавов. В зависимости от назначения провода, корпус клеммника делается из разных цветов. Фазный провод – серый, защитный – желто-зеленый, нейтральный – синий. Для подбора клеммников требуется, чтобы они удовлетворяли двум условиям

1. Сечение провода должно соответствовать размеру места в клеммнике, отведенному под этот провод.
2. Номинальный ток провода не должен превышать номинальный ток, на который рассчитан клеммник.

Клеммники, удовлетворяющие условиям:

Для кабеля 0 необходимым критериям удовлетворяет ABB M10/10

Для кабеля 1 необходимым критериям удовлетворяет ABB M4/6

Для кабелей 2-4 необходимым критериям удовлетворяет ABB MA2.5/5

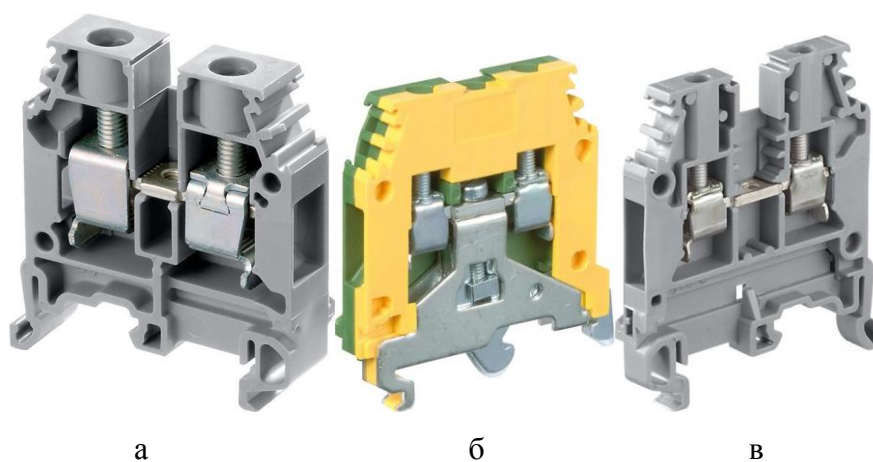


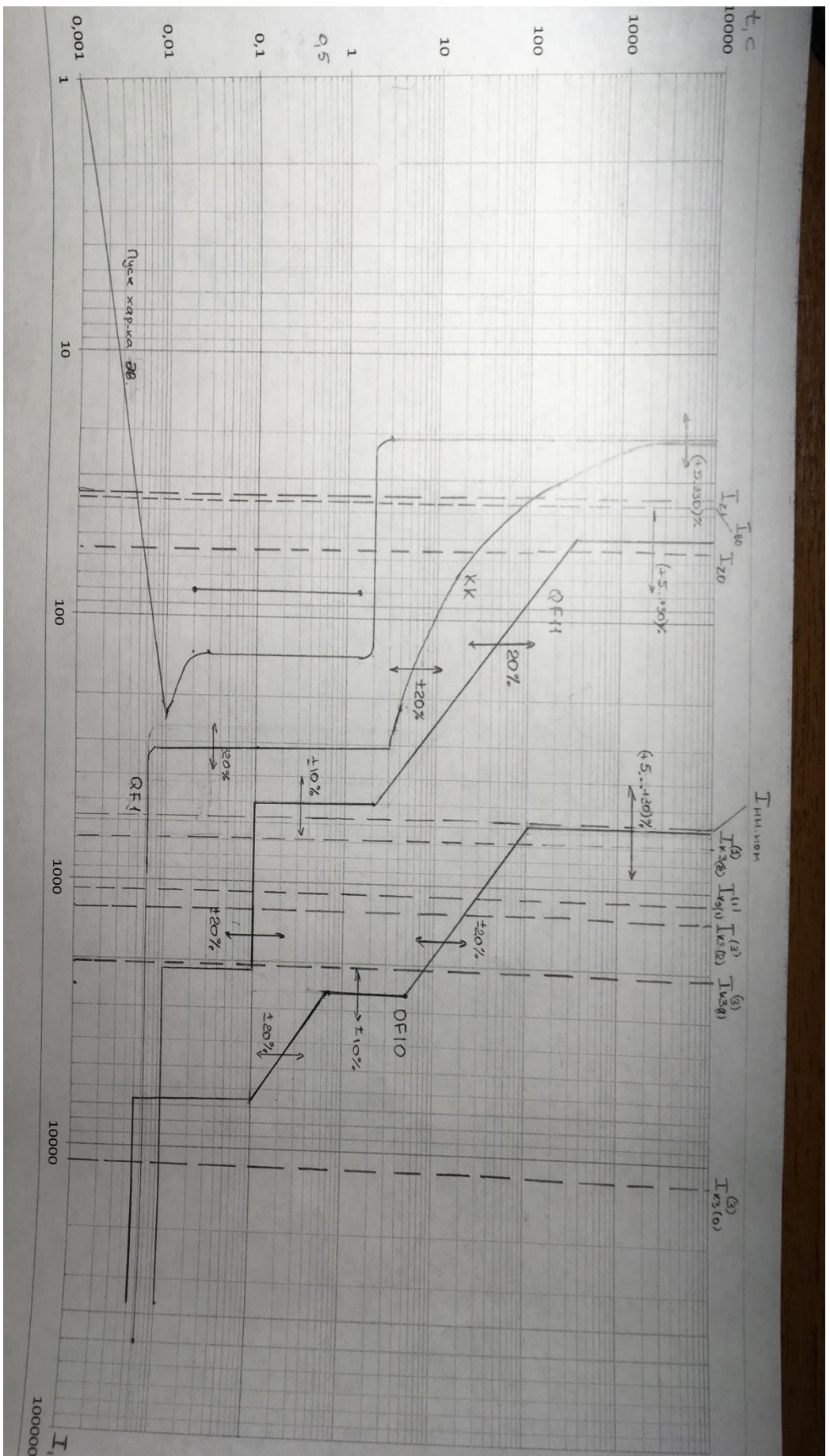
Рисунок 14 – Общий вид клеммников ABB M10/10 (а), M4/6(б), ABB MA2.5/5(в).

2.12 ВЫБОР ШКАФА НКУ.

Шкафы серии SR2 были разработаны с учетом многолетнего опыта, полученного ABB при изготовлении металлических конструкций со степенью защиты IP 65 (в соответствии со стандартом МЭК 60529), а также запатентованных ABB новаторских процессов изготовления. Наиболее распространенным является использование шкафов SR2 для монтажа управляющих и распределительных устройств для использования в широком диапазоне производственного оборудования: от крупных автоматизированных производственных линий или их частей до стандартных распределительных устройств бортовой техники, котлов, нагревательных установок и т.д. Единственным критерием выбора шкафа являются его габариты, шкаф должен вмещать все НКУ. Необходимым критериям удовлетворяет шкаф: ABB SRN6425K. К шкафу выбираем рейку KD6040K.



Рисунок 15 – Общий вид шкафа SRN6425K.



ВЫВОД ПО РАБОТЕ.

В данном курсовом проекте я разработал по заданным параметрам низковольтное комплектное устройство. Я использовал аппараты защиты и управления, представленные в каталогах компании АВВ. Так же я выполнил чертеж разработанного НКУ и его принципиальную схему.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1. System pro M compact® и другие модульные устройства. Технический каталог ABB. — 2016 г.
2. Оборудование для управления и защиты электродвигателей. Технический каталог ABB. — 2017 г.
3. Светосигнальная аппаратура. Технический каталог ABB. — 2018 г.
4. Оборудование для управления и защиты электродвигателей. Технический каталог. — ABB. — 2017 г.
5. Выключатели нагрузки до 4000 А. Технический каталог. — ABB. — 2016 г.
6. Tmax XT. Низковольтные автоматические выключатели на номинальный ток до 250 А. Технический каталог. — ABB. — 2017 г.
7. Tmax. Низковольтные автоматические выключатели на номинальный ток до 1600 А. Технический каталог. — ABB. — 2016 г.
8. Оборудование для автоматизации. Справочник по электрооборудованию Устройства защиты и управления. Электрические устройства. — ABB. — 2014 г.