

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

---

**О. Н. Молоканов, Е. А. Кузнецова**

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НИЗКОГО  
НАПРЯЖЕНИЯ**

Учебное пособие

по дисциплине

«Электрические и электронные аппараты»

для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Москва

Издательство МЭИ

2020

УДК 621.316  
ББК 31.279  
М 757

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»  
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре электромеханики,  
электрических и электронных аппаратов

Рецензенты: докт. техн. наук, проф. Ю. Б. Казаков;  
канд. техн. наук, доц. Н. А. Ведешенков

**М 757 Молоканов, О. Н.**

Применение электрических аппаратов в системах электроснабжения низкого напряжения : учеб. пособие / О. Н. Молоканов, Е. А. Кузнецова. — М. : Издательство МЭИ, 2020. — 101 С.

ISBN 978-5-7046-2203-1

Учебное пособие предназначено для изучения курса «Электрические и электронные аппараты» в части курсового проектирования. В пособии рассматриваются вопросы выбора электрических аппаратов для систем электроснабжения низкого напряжения, методика выполнения расчётов, необходимых для выбора аппаратуры, а также затрагивается тема конструкторской проработки низковольтного комплектного устройства. Основное назначение учебного пособия заключается в обеспечении студентов информацией, необходимой для выполнения и защиты курсового проекта, а также в помощи обучающимся в усвоении основных положений курса на основе практических примеров применения электрических аппаратов.

Для подготовки бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

**УДК 621.316  
ББК 31.279**

ISBN 978-5-7046-2203-1

© Национальный исследовательский  
университет «МЭИ», 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЁТЫ.....	8
1.1 Общие рекомендации .....	8
1.2 Параметры силового трансформатора.....	8
1.3 Токи нагрузок.....	9
1.4 Определение площади поперечного сечения жил кабелей.....	11
1.5 Проверка кабелей по допустимому падению напряжения.....	15
1.6 Токи короткого замыкания .....	18
Контрольные вопросы .....	30
2 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	31
2.1 Общие рекомендации .....	31
2.2 Автоматические выключатели в линиях с однофазной нагрузкой $QF2-QF4$ .....	32
2.3 Устройства дифференциальной защиты в линиях с однофазной нагрузкой.....	36
2.4 Автоматический выключатель для защиты электродвигателя $QF1$ .....	40
2.5 Электромагнитный контактор $KM1$ .....	45
2.6 Тепловое реле перегрузки $KK1$ .....	49
2.7 Плавкий предохранитель $FU1$ .....	52
2.8 Кнопки в цепи управления электродвигателем $SB1, SB2$ .....	55
2.9 Выключатель-разъединитель $QS1$ .....	57
2.10 Автоматические выключатели верхнего уровня электропитания $QF10, QF11$ .....	60
2.11 Клеммные колодки .....	71
2.12 Карта селективности.....	72
Контрольные вопросы .....	73
3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ПРОРАБОТКА ПРОЕКТА.....	76
3.1 Подготовка чертежей аппаратов .....	76
3.2 Компоновка оборудования .....	78
3.3 Выбор оболочки НКУ .....	78
3.4 Выполнение электрических соединений.....	78
3.5 Оформление чертежа общего вида .....	79
3.6 Построение схемы электрической принципиальной .....	80
Контрольные вопросы .....	80
4 ПРИЛОЖЕНИЯ .....	82
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	101

## ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены вопросы применения электрических аппаратов низкого напряжения в рамках курсового проектирования по дисциплине «Электрические и электронные аппараты». Учебное пособие структурно подразделено на три основные части, соответствующие ключевым этапам выполнения проекта.

В первой части изложена методика расчёта электрических параметров электрооборудования, выбора поперечного сечения кабелей, а также определения токов коротких замыканий и падений напряжений в характерных точках системы электроснабжения.

Вторая часть посвящена вопросам выбора аппаратов защиты и управления. Приведены основные критерии выбора электрических аппаратов различных типов. Каждый из критериев подробно обоснован с точки зрения его необходимости. Особое внимание уделено выбору и особенностям настройки электронных расцепителей силовых автоматических выключателей, а также методике построения карты селективности.

В третьей части учебного пособия рассмотрены основные вопросы создания чертежа общего вида низковольтного комплектного устройства (НКУ). Сформулированы основные требования к конструкции НКУ и приведён алгоритм создания чертежа общего вида. Разобраны типичные ошибки, возникающие при конструкторской проработке НКУ.

Отличительной частью учебного пособия является подробное рассмотрение наиболее проблемных для студентов вопросов при выполнении проекта. Теоретический материал сопровождается конкретными практическими примерами расчётов и выбора электрических аппаратов, для чего в пособии используется обобщённый вариант схемы электроснабжения, приведённый на рис. 1. В дальнейшем в учебном пособии используются буквенно-цифровые обозначения аппаратов, характерных точек и кабелей именно согласно этой схеме.

Важно отметить, что основная цель учебного пособия заключается в обеспечении обучающихся методическими материалами по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрические и электронные аппараты». При этом подразумевается, что, обращаясь к разделам пособия, читатель уже знаком с соответствующими положениями основной теоретической части курса. В связи с этим многие теоретические вопросы, касающиеся устройства и принципа действия электрических аппаратов, а также специальные термины, в пособии поясняются не в полном объёме. При возникновении трудностей с освоением материала пособия рекомендуется сначала освоить соответствующие разделы основного учебника по дисциплине



проводники  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ , в то время как нулевой  $PEN$ -проводник подключается к шине  $PEN$  напрямую в обход  $QF10$ . К сборным шинам подключены две отходящие линии, однако в дальнейшем рассматривается только первая из них. Рассматриваемая далее отходящая линия защищена установленным в её начале трёхполюсным автоматическим выключателем  $QF11$ , к которому подключены только фазные проводники  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ , а  $PEN$ -проводник проходит в обход  $QF11$ . К выходным клеммам  $QF11$  подключен четырёхжильный кабель КБ1 (три фазных жилы и одна  $PEN$ -жила), который подключается непосредственно к вводу НКУ.

На вводе НКУ установлен выключатель-разъединитель  $QS1$ , после которого питание распределяется на несколько параллельных линий, питающихся по кабелям КБ2–КБ8. На выходных зажимах  $QS1$  расположена характерная точка 1.

Четырёхжильный кабель КБ2 (три фазных жилы и одна  $PE$ -жила) питает трёхфазную нагрузку в виде асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором  $M1$ , на клеммах которого расположена характерная точка 2. Для защиты кабеля КБ2 и электродвигателя  $M1$  от сверхтоков предусмотрены трёхполюсный автоматический выключатель  $QF1$ , оснащённый только электромагнитным расцепителем, и тепловое реле  $KK1$ . Для пуска и остановки электродвигателя используется электромагнитный контактор  $KM1$ , для коммутации которого предусмотрена вспомогательная слаботочная цепь управления, состоящая из кнопок пуск  $SB1$  и стоп  $SB2$ , катушки электромагнита контактора  $KM1$ , вспомогательного замыкающего контакта контактора  $KM1$ , а также размыкающего<sup>1</sup> контакта теплового реле  $KK1$ . Цепь управления защищена от сверхтоков плавким предохранителем  $FU1$ .

Двухжильный кабель КБ3 (жилы  $L1$  и  $N$ ) питает однофазную осветительную нагрузку и защищён от сверхтоков при помощи однополюсного автоматического выключателя  $QF2$ . Линии КБ4 и КБ5 аналогичны КБ3, за исключением того, что подключены к другим фазам сети.

Трёхжильный кабель КБ6 (жилы  $L1$ ,  $N$  и  $PE$ ) питает однофазную нагрузку, подключаемую к сети при помощи розеточных групп. Кабель КБ6 защищён от сверхтоков при помощи автоматического выключателя дифференциального тока (АВДТ)  $FD1$ . Помимо этого, за счёт функции

---

<sup>1</sup> Замыкающие и размыкающие контакты в технической литературе и на практике зачастую называются соответственно нормально открытыми и нормально закрытыми и обозначаются на корпусах аппаратов аббревиатурами  $NO$  (от англ. *Normally Open*) и  $NC$  (от англ. *Normally Closed*). Под нормальным подразумевается состояние контактов без подачи сигнала на включение, например при обесточенной катушке управления контактора.

дифференциальной защиты *FD1* срабатывает при возникновении тока утечки и тем самым обеспечивает защиту от пожара, вызванного повреждением изоляции, а также защиту человека от поражения электрическим током. Линии КБ7 и КБ8 аналогичны линии КБ6, за исключением того, что подключены к другим фазам сети. Характерные точки 3 и 4 расположены в конце кабельных линий КБ3 и КБ6 соответственно.

Зачастую короткие замыкания происходят из-за некорректного электромонтажа, поэтому все характерные точки на схеме электроснабжения расположены в местах присоединения кабелей к клеммам оборудования. Кроме того, расположение характерных точек в начале и конце кабеля даёт возможность оценить как минимально, так и максимально возможный ток короткого замыкания для каждого из аппаратов защиты.

На вводе в НКУ выполнено разделение *PEN*-проводника на *PE* и *N* в соответствии с системой заземления *TN-C-S*. В целях обеспечения требований защиты от поражения электрическим током провод *PE* присоединяется к металлической оболочке НКУ.

# 1 ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЁТЫ

## 1.1 Общие рекомендации

На начальном этапе выполнения проекта необходимо выполнить расчёты токов в линиях, выбрать сечения питающих кабелей и найти сопротивления всех входящих в цепь элементов, на основании чего рассчитать токи коротких замыканий в характерных точках системы<sup>2</sup>.

При выполнении предварительных расчётов целесообразно соблюдать следующие правила:

1. Во избежание путаницы с размерностями рекомендуется выполнять все расчёты исключительно в СИ без использования кратных единиц (приставки кило-, милли- и т. д.), а использовать кратные единицы только лишь при представлении конечного результата вычислений.

2. Все токи, за исключением токов коротких замыканий, выражать в амперах и округлять до десятых.

3. Токи коротких замыканий выражать в килоамперах и округлять до сотых.

4. Сопротивления (активные, индуктивные и полные) выражать в миллиомах и округлять до десятых.

5. Выполненные расчёты необходимо представлять в документации к проекту в виде расчётно-пояснительной записки (РПЗ), оформленной в соответствии с требованиями, приведёнными в приложении А.

6. Для промежуточного контроля выполненных расчётов необходимо заполнить сводную таблицу по форме приложения К.

## 1.2 Параметры силового трансформатора

Номинальный ток фазы обмотки низшего напряжения силового трёхфазного трансформатора  $I_{\text{НН.ном}}$ , А, рассчитывается по формуле

$$I_{\text{НН.ном}} = \frac{S_{\text{т.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН.ном}}}, \quad (1.1)$$

где  $S_{\text{т.ном}}$  — номинальная мощность трансформатора, В·А;  $U_{\text{НН.ном}}$  — номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, В.

---

<sup>2</sup> Исходные данные для расчёта содержатся в задании на проект.



Полное  $Z_T$ , Ом, а также активное  $r_T$ , Ом и индуктивное  $x_T$ , Ом, сопротивления фазы силового трансформатора, приведённые к ступени низшего напряжения, рассчитываются по формулам:

$$Z_T = \frac{U_{HH.ном}^2}{S_{T.ном}} \cdot \frac{u_k}{100}, \quad (1.2)$$

$$r_T = \frac{P_k}{3 \cdot I_{HH.ном}^2}, \quad (1.3)$$

$$x_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2}, \quad (1.4)$$

где  $u_k$  — напряжение короткого замыкания трансформатора, %;  $P_k$  — потери короткого замыкания трансформатора, Вт.

## 1.3 Токи нагрузок

### 1.3.1 Трёхфазная нагрузка

По схеме электроснабжения (рис. 1) в качестве трёхфазной нагрузки используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Электродвигатель преобразует подводимую к нему электрическую энергию в механическую, поэтому под его номинальной мощностью подразумевается механическая мощность на его валу<sup>3</sup>. Таким образом, для расчёта потребляемой электродвигателем от сети электрической мощности, а следовательно, и тока необходимо учитывать его КПД и коэффициент мощности. Кабель КБ2 питает только электродвигатель, поэтому линейный ток, потребляемый электродвигателем, и расчётный ток фазной жилы кабеля КБ2 равны. Таким образом, действующее значение тока, потребляемого из сети трёхфазным электродвигателем в номинальном режиме по каждой из фаз  $I_{д.ном}$ , А, определяется по формуле

$$I_{д.ном} = I_{B2} = \frac{P_{д.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{д.ном} \cdot \eta_d \cdot \cos \varphi_d}, \quad (1.5)$$

где  $I_{B2}$  — расчётный ток кабеля КБ2, А;  $P_{д.ном}$  — номинальная мощность электродвигателя, Вт;  $U_{д.ном}$  — номинальное напряжение электродвигателя, В;  $\eta_d$  — КПД электродвигателя (в долях);  $\cos \varphi_d$  — коэффициент мощности электродвигателя.

---

<sup>3</sup> ГОСТ IEC 60034-1–2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики, пп. 5.5.3.

При подаче напряжения на обмотку статора асинхронного электродвигателя его ротор начинает ускоряться и постепенно в течение некоторого времени достигает номинальной частоты вращения. На интервале ускорения помимо непосредственно момента сопротивления механической нагрузки электродвигатель должен преодолеть значительный динамический момент, связанный с моментом инерции ротора электродвигателя и нагрузки. В связи с этим во время пуска ток, потребляемый электродвигателем из сети, в несколько раз превышает номинальное значение. Установившееся действующее значение этого тока называется *пусковым током*<sup>4</sup>  $I_{д.п}$ , А, и определяется по формуле

$$I_{д.п} = k_I \cdot I_{д.ном}, \quad (1.6)$$

где  $k_I$  — кратность пускового тока по отношению к номинальному току электродвигателя.

Обмотка электродвигателя обладает активно-индуктивным сопротивлением, поэтому в первый момент времени после подачи напряжения питания ток в ней не может увеличиться скачком. Вследствие этого возникает переходный процесс, аналогичный включению  $RL$  цепи на синусоидальное напряжение. За счёт этого в токе, потребляемом электродвигателем из сети, возникает преходящая (апериодическая) составляющая, что приводит к появлению значительного броска тока в обмотке электродвигателя в начале пуска. Время, за которое после подачи напряжения на электродвигатель ток в одной из фаз достигает своего максимального значения, составляет в среднем 10 мс при частоте сети 50 Гц. Максимальное значение этого тока называется ударным пусковым током электродвигателя. В общем случае ударный пусковой ток определяется электрическими параметрами питающей сети и электродвигателя, а также мгновенным значением фазного напряжения сети в момент коммутации (фазой коммутации).

В связи с тем, что фаза коммутации величина случайная, то значение ударного пускового тока  $I_{д.у}$ , А, можно рассчитать только приближённо (в первом приближении коэффициент выбирается произвольно)

$$I_{д.у} \approx (1,1 \dots 1,2) \cdot \sqrt{2} \cdot I_{д.п}. \quad (1.7)$$

---

<sup>4</sup> ГОСТ IEC 60050-411–2015 Международный электротехнический словарь. Часть 411. Машины вращающиеся, пп. 411-48-17.

### 1.3.2 Однофазные нагрузки

Расчётное значение тока, протекающего по фазному  $L$  и нулевому рабочему  $N$  проводникам каждого из кабелей, питающих однофазную нагрузку (КБ3–КБ8)  $I_{Bi}$ , А, определяется по формуле

$$I_{Bi} = \frac{P_{ni}}{U_{н.ном} \cdot \cos \varphi_n}, \quad (1.8)$$

где  $i$  — номер кабеля ( $i = 3-8$ );  $P_{ni}$  — мощность однофазной нагрузки, питаемой  $i$ -м кабелем, Вт;  $U_{н.ном}$  — номинальное напряжение однофазной нагрузки, В;  $\cos \varphi_n$  — коэффициент мощности однофазной нагрузки.

## 1.4 Определение площади поперечного сечения жил кабелей

Подключение нагрузки к источнику питания осуществляется при помощи электрических кабелей, представляющих собой несколько изолированных друг от друга жил (проводников), которые заключены в общую оболочку<sup>5</sup>. Протекающий по жилам кабеля электрический ток по закону Джоуля-Ленца вызывает потери мощности, которые выделяются в виде тепловой энергии. Это приводит к нагреванию как самой токоведущей жилы кабеля, так и её изоляции. При одинаковой длине кабеля чем больше площадь поперечного сечения жилы, тем ниже её электрическое сопротивление, и тем меньше тепловой энергии выделяется при протекании тока. Во избежание превышения допустимой температуры площади поперечных сечений жил кабелей должны быть выбраны в соответствии с протекающими по ним расчётными токами. На практике температура кабеля зависит не только от действующего значения протекающего по нему тока и площади поперечного сечения его жил, но и от материала жил, типа изоляции, а также способа и условий прокладки. Действующее значение тока, при котором достигается допустимая температура изоляции при заданных условиях эксплуатации, называется *длительно допустимым током* или *допустимой токовой нагрузкой* кабеля<sup>6</sup>  $I_z$ .

*В рамках проекта рекомендуется выбирать медный кабель с резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке, проложенный на открытом воздухе.* Выбор площади поперечных сечений жил кабелей

---

<sup>5</sup> ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные. Термины и определения.

<sup>6</sup> ГОСТ Р 50571.5.52-2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки, раздел 523.

проводится из дискретного ряда значений по таблице 1.3.6 ПУЭ<sup>7</sup>. При этом рекомендуется обеспечить минимальный запас в 30 % между расчётным  $I_{Bi}$  и длительно допустимым токами кабеля  $I_{Zi}$ , А

$$I_{Zi} \geq 1,3 \cdot I_{Bi}, \quad (1.9)$$

где  $i$  — номер кабеля;  $I_{Zi}$  — длительно допустимый ток  $i$ -ого кабеля, А;  $I_{Bi}$  — расчётный ток в  $i$ -ом кабеле, А.

При подборе площади поперечного сечения жил кабелей важно иметь в виду, что тепловое состояние кабеля определяется не суммарным числом его жил, а числом жил нагруженных током, в связи с этим под количеством жил в таблице 1.3.6 ПУЭ подразумевается не реальное число жил кабеля, а только то число жил, по которым протекает ток в нормальных условиях эксплуатации. При этом в рамках рассматриваемой схемы электроснабжения принципиально выделяется два возможных случая:

1. *Кабели, питающие трёхфазную нагрузку.* Для таких кабелей принимается, что трёхфазная нагрузка симметрична, в связи с чем ток в нулевых проводниках отсутствует. Поэтому нулевой рабочий проводник  $N$ , защитный проводник  $PE$ , а также проводник  $PEN$  в расчёт количества жил по ПУЭ не принимаются<sup>8</sup>. Таким образом, площадь поперечного сечения фазных жил ( $L1, L2, L3$ ) выбирается на основании длительно допустимого тока для *трёхжильных* кабелей. В рамках проекта рекомендуется выбирать площади поперечных сечений нулевых жил ( $N, PE, PEN$ ) такими же, как и для фазных жил ( $L1, L2, L3$ ).

2. *Кабели, питающие однофазную нагрузку.* У таких кабелей фазный  $L$  и нулевой рабочий  $N$  проводники в нормальном режиме обтекаются расчётным током нагрузки. В защитном проводнике  $PE$  в нормальном режиме ток не протекает. Таким образом, площадь поперечного сечения фазной  $L$  и нулевой рабочей  $N$  жил по ПУЭ выбираются на основании длительно допустимого тока для *двухжильных* кабелей. В рамках проекта рекомендуется выбирать площади поперечных сечений защитных жил  $PE$  такими же, как и для фазных жил  $L$ .

На основании выбранного поперечного сечения жил кабеля, его длины и данных по удельным сопротивлениям (приложение Б) проводится расчёт активного  $r_k$ , Ом, и индуктивного  $x_k$ , Ом, сопротивлений кабеля соответственно

---

<sup>7</sup> Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. М. : ЭНАС, 2005.

<sup>8</sup> Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. М. : ЭНАС, 2005. пп. 1.3.10., ГОСТ Р 50571.5.52–2011 Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки, пп. 523.6.

$$r_{ki} = r_{yди} \cdot l_{ki}, \quad (1.10)$$

$$x_{ki} = x_{yди} \cdot l_{ki}, \quad (1.11)$$

где  $i$  — номер кабеля;  $r_{yди}$ ,  $x_{yди}$  — удельное активное и индуктивное сопротивление  $i$ -го кабеля соответственно, Ом/м (см. приложение Б);  $l_{ki}$  — длина  $i$ -го кабеля, м.

Важно отметить, что в общем случае длительно допустимый ток кабеля в значительной степени зависит от способа его прокладки, который, по существу, определяет коэффициент теплоотдачи с поверхности кабеля. Рекомендуемая в проекте прокладка кабеля на открытом воздухе обеспечивает относительно хорошие условия теплоотдачи, поэтому длительно допустимые токи в этом случае довольно высокие. Однако на практике кабели зачастую прокладываются в сложных с точки зрения теплоотдачи условиях, за счёт чего их длительно допустимые токи значительно ниже. Всё многообразие различных способов прокладки кабелей и соответствующих им длительно допустимых токов содержится в ГОСТ Р 50571.5.52–2011.

Типичным практическим примером является выбор сечения кабелей для домашней электропроводки. В этом случае условия прокладки кабелей зачастую не оценивается должным образом, поэтому их длительно допустимые токи нередко определяются из наихудшего случая, который соответствует прокладке многожильных кабелей в трубах внутри термоизолирующих стен, обладающих коэффициентом теплоотдачи с внутренней поверхности не менее 10 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (способ прокладки А2 в терминологии ГОСТ Р 50571.5.52–2011)<sup>9</sup>.

Это позволяет быть уверенным, что, несмотря на условия прокладки, температура изоляции кабеля гарантировано не превысит допустимых значений, что обеспечит долгий срок службы электропроводки. Однако такой подход не всегда оправдан с точки зрения технико-экономической эффективности при промышленном применении.

---

<sup>9</sup> По этой причине в быту при подключении однофазной нагрузки кабель с двумя нагруженными жилами поперечным сечением 1,5 мм<sup>2</sup> ( $I_z = 14$  А при способе прокладки А2), зачастую защищается модульным автоматическим выключателем с номинальным током 10 А, а сечением 2,5 мм<sup>2</sup> ( $I_z = 18,5$  А при способе прокладки А2) — с номинальным током 16 А.

### 1.4.1 Пример выбора площади поперечного сечения жил кабеля КБ1

Пусть  $I_{B2} = 14,8$  А;  $I_{B3} = 2,4$  А;  $I_{B6} = 15,8$  А;  $l_{к1} = 50$  м. Расчётный ток в каждой из фазных жил кабеля КБ1  $I_{B1}$ , А, определяется как<sup>10</sup>

$$I_{B1} \approx I_{B2} + I_{B3} + I_{B6} = 14,8 + 2,4 + 15,8 = 33 \text{ А}, \quad (1.12)$$

где  $I_{B2}$ ,  $I_{B3}$ ,  $I_{B6}$  — расчётные токи в кабелях КБ2, КБ3 и КБ6 соответственно, А.

В соответствии с (1.9) необходимо выбрать такое поперечное сечение жил кабеля КБ1, чтобы его длительно допустимый ток  $I_{Z1}$ , А, удовлетворял неравенству

$$I_{Z1} \geq 1,3 \cdot I_{B1} = 1,3 \cdot 33 = 42,9 \text{ А}. \quad (1.13)$$

Для определения площади поперечного сечения кабеля с помощью ПУЭ необходимо определить количество нагруженных током жил. Кабель КБ1 соединяет между собой сборные шины низкого напряжения КТП и ввод НКУ. В соответствии со схемой электроснабжения кабель КБ1 четырёхжильный: по одной жиле на каждую из фаз  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  и одна жила для объединённого нулевого рабочего и защитного проводника  $PEN$ . Предполагая, что нагрузка по фазам распределена симметрично, в нормальном режиме ток в кабеле КБ1 протекает только по трём жилам  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  из четырёх. Таким образом, площадь поперечного сечения его фазных жил  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  определяется как для *трёхжильного* кабеля. В соответствии с общими рекомендациями площадь поперечного сечения жилы  $PEN$  принимается такой же как и для фазных жил  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ . Таким образом, согласно таблице 1.3.6 ПУЭ для трёхжильного кабеля, проложенного в воздухе, наименьший длительно допустимый ток, удовлетворяющий условию (1.13), составляет 55 А, что соответствует площади поперечного сечения жилы  $10 \text{ мм}^2$ . Следовательно, принимаем:  $I_{Z1} = 55 \text{ А}$ ,  $s_{к1} = 10 \text{ мм}^2$ .

В соответствии со справочными данными из приложения Б и формулами (1.10) и (1.11) проводится расчёт сопротивлений жил кабеля КБ1

---

<sup>10</sup> Следует отметить, что, строго говоря, суммарный ток не является арифметической суммой расчётных токов отдельных потребителей. Так как в общем случае потребители имеют разный коэффициент мощности, то необходимо выполнять геометрическое суммирование векторов токов для учёта их фазового сдвига. Однако, в инженерных расчётах общепринято делать простое арифметическое сложение, результат которого даёт несколько завышенное значение тока, что обеспечивает расчётный запас.

$$r_{к1} = r_{уд1} \cdot l_{к1} = 2,27 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 113,5 \text{ мОм}, \quad (1.14)$$

$$x_{к1} = x_{уд1} \cdot l_{к1} = 0,0861 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 4,3 \text{ мОм}. \quad (1.15)$$

Аналогичные расчёты необходимо провести и для остальных кабелей, определяя их расчётные токи в соответствии с формулами (1.5) и (1.8). Полученные результаты сводятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1

### Расчётные токи и параметры кабелей

	КБ1	КБ2	КБ3	КБ6
Длина кабеля, $l_k$ , м	50			
Расчётный ток кабеля, $I_B$ , А	33			
Расчётный ток кабеля с запасом в 30 %, А	42,9			
Суммарное количество жил кабеля	4			
Количество жил под нагрузкой	3			
Площадь поперечного сечения жил, $s_k$ , мм <sup>2</sup>	10			
Длительно допустимый ток кабеля, $I_Z$ , А	55			
Удельное активное сопротивление, $r_{уд}$ мОм/м	2,27			
Удельное индуктивное сопротивление, $x_{уд}$ , мОм/м	0,0861			
Активное сопротивление, $r_k$ , мОм	113,5			
Индуктивное сопротивление, $x_k$ , мОм	4,3			

## 1.5 Проверка кабелей по допустимому падению напряжения

### 1.5.1 Номинальный режим работы электроустановки

Допустимое падение напряжения между источником питания и нагрузкой для осветительных сетей составляет 3 %, для других потребителей — 5 % от номинального напряжения сети между фазой и нейтралью<sup>11</sup>. Большие значения падения напряжения свидетельствуют о высоких потерях электроэнергии в питающих кабелях, а также могут оказывать негативное влияние на работу электрооборудования.

При условии симметричной трёхфазной нагрузки в нулевом рабочем проводнике  $N$  ток отсутствует, и падения напряжения в этом проводнике нет. Таким образом, в номинальном режиме работы

<sup>11</sup> ГОСТ Р 50571.5.52–2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки. Приложение G.

электроустановки расчётные падения напряжения в трёхфазных кабелях КБ1 и КБ2,  $u_{ki}$ , В, определяются только фазными жилами и рассчитываются по формуле

$$u_{ki} = I_{Bi} \cdot \sqrt{r_{ki}^2 + x_{ki}^2}, \quad (1.16)$$

где  $i$  — номер кабеля ( $i = 1$  или  $2$ );  $I_{Bi}$  — расчётный ток  $i$ -го кабеля, А.

При питании однофазной нагрузки *нулевой рабочий проводник*  $N$  обтекается расчётным током и, при условии равенства площадей поперечных сечений фазного и *нулевого рабочего* проводников, в нём возникает такое же падение напряжения, как и в фазном проводнике  $L$ . Таким образом, для кабелей КБ3–КБ8, питающих однофазную нагрузку, расчётные падения напряжения  $u_{ki}$ , В, в номинальном режиме определяются по формуле

$$u_{ki} = 2 \cdot I_{Bi} \cdot \sqrt{r_{ki}^2 + x_{ki}^2}, \quad (1.17)$$

где  $i$  — номер кабеля ( $i = 3–8$ ).

Пренебрегая сдвигом фаз между векторами напряжений<sup>12</sup>, относительные значения падений напряжения на выводах нагрузки в точках 2, 3 и 4 определяются как

$$\Delta u_2 \approx \frac{u_{k1} + u_{k2}}{U_{\text{HH.ном}} / \sqrt{3}} \cdot 100, \quad (1.18)$$

$$\Delta u_3 \approx \frac{u_{k1} + u_{k3}}{U_{\text{HH.ном}} / \sqrt{3}} \cdot 100, \quad (1.19)$$

$$\Delta u_4 \approx \frac{u_{k1} + u_{k6}}{U_{\text{HH.ном}} / \sqrt{3}} \cdot 100. \quad (1.20)$$

### 1.5.2 Режим пуска электродвигателя

Во время разгона ротора асинхронного электродвигателя до номинальной частоты вращения из сети потребляется большой пусковой ток  $I_{\text{д.п.}}$ . Этот ток протекает через кабели КБ1 и КБ2, оказывая на них, прежде всего, термическое воздействие. Так как в нормальных условиях пуск электродвигателя и выход его на номинальный режим происходит за

---

<sup>12</sup> Введение этого допущения даёт возможность выполнять арифметическое сложение векторов, результатом которого является несколько завышенное значение падения напряжения по сравнению с действительным, что обеспечивает расчётный запас.



несколько секунд, то этот ток не вызывает опасного превышения температуры изоляции кабелей выше допустимых значений. Однако, кроме повышенного выделения тепловой энергии, пусковой ток также вызывает значительные падения напряжения в кабелях КБ1 и КБ2. Момент, развиваемый асинхронным электродвигателем, пропорционален квадрату подводимого напряжения. В связи с этим уменьшение напряжения на выводах электродвигателя может приводить к увеличению времени пуска или к полной невозможности пуска.

Необходимо также отметить, что большое падение напряжения в момент пуска электродвигателя может привести к тому, что ток в катушке электромагнита контактора *КМ1* окажется недостаточным для создания электромагнитной силы, необходимой для удержания якоря в замкнутом положении. В этом случае главные контакты контактора разомкнутся, что приведёт к временному обесточиванию электродвигателя. Отсутствие тока в линии с электродвигателем уменьшит падение напряжения в питающем кабеле КБ1, что приведёт к увеличению напряжения, подаваемого на катушку контактора, и его главные контакты вновь замкнутся. После замыкания контактов снова начнёт протекать пусковой ток электродвигателя, который опять уменьшит напряжение на катушке электромагнита контактора, и весь процесс повторится сначала. Такие кратковременные замыкания и размыкания контактов (вибрация) сопровождаются загоранием между ними коротких дуг, что вызывает преждевременный износ контактов и может привести к их свариванию. В дополнение к этому, магнитная цепь электромагнита при разомкнутом якоре обладает малой магнитной проводимостью, за счёт чего индуктивность катушки электромагнита уменьшается. В случае электромагнита переменного тока это приводит к уменьшению полного сопротивления катушки, что влечёт за собой увеличение среднего тока в катушке по сравнению с нормальным режимом работы и может привести к перегреву изоляции катушки и выходу из строя контактора.

Согласно действующим стандартам, падение напряжения во время пуска электродвигателей и другого оборудования с большим пусковым током может превышать допустимые пределы в 5 %. В рамках проекта необходимо обеспечить падение напряжения во время пуска электродвигателя не выше 15 %.

Расчётный ток в кабеле КБ1 во время пуска  $I_{B1}^{\Pi}$ , А, определяется в соответствии с выражением<sup>10</sup>

$$I_{B1}^{\Pi} \approx I_{д.п} + I_{B3} + I_{B6}. \quad (1.21)$$

Падение напряжения во время пуска в кабеле КБ1  $u_{к1}^{\Pi}$ , В, определяется по выражению

$$u_{к1}^{\Pi} \approx I_{B1}^{\Pi} \cdot \sqrt{r_{к1}^2 + x_{к1}^2}. \quad (1.22)$$

Падение напряжения во время пуска в кабеле КБ2  $u_{к2}^{\Pi}$ , В, определяется как

$$u_{к2}^{\Pi} \approx I_{д.п} \cdot \sqrt{r_{к2}^2 + x_{к2}^2}. \quad (1.23)$$

Пренебрегая сдвигом фаз между векторами напряжений, относительное падение напряжения на выводах электродвигателя во время пуска  $\Delta u_2^{\Pi}$ , %, определяется по формуле

$$\Delta u_2^{\Pi} \approx \frac{u_{к1}^{\Pi} + u_{к2}^{\Pi}}{U_{НН.ном} / \sqrt{3}} \cdot 100. \quad (1.24)$$

При невыполнении требований по допустимому падению напряжения (1.18)–(1.20) и (1.24) рекомендуется увеличить площади поперечного сечения жил кабелей, начиная с кабелей с наибольшим падением напряжения, и повторить расчёты.

## 1.6 Токи короткого замыкания

Короткое замыкание — это случайное или преднамеренное соединение двух или нескольких токопроводящих частей между собой, приводящее к тому, что разность потенциалов этих частей становится близкой к нулю<sup>13</sup>. В рабочем режиме электроустановки между фазным  $L$  и нулевым рабочим проводником  $N$  подключена нагрузка, обладающая значительным сопротивлением, которое в основном и определяет потребляемый по линии ток. При соединении фазы  $L$  и нулевого рабочего проводника  $N$  или разных фаз напрямую без нагрузки ток определяется лишь сопротивлениями сети и линий от источника питания до точки короткого замыкания, вследствие чего токи могут повышаться на порядки относительно номинального режима. Тепловая мощность, выделяемая в кабелях, а также усилия между токоведущими частями пропорциональны квадрату тока, что определяет серьёзные термические и электродинамические (механические) нагрузки и может приводить к повреждению оборудования, пожарам и опасности для обслуживающего персонала. В связи с этим необходимо использовать аппараты защиты от

---

<sup>13</sup> ГОСТ IEC 60947-1–2014. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие правила. пп. 2.1.5

сверхтоков (автоматические выключатели, предохранители), обеспечивающие автоматическое отключение повреждённого участка цепи в случае возникновения короткого замыкания или перегрузки. В рамках проекта рассматривается два вида коротких замыканий:

1) *трёхфазное короткое замыкание*, возникающее при электрическом соединении между собой сразу трёх фаз  $L1, L2, L3$ ;

2) *однофазное короткое замыкание*, возникающее при электрическом соединении между собой одной из фаз, например  $L1$ , и одного из нулевых проводников, например  $N$ .

При возникновении короткого замыкания на удалении от трансформатора ток трёхфазного короткого замыкания всегда превышает ток однофазного короткого замыкания. Для выбора аппаратов защиты необходимо знать как минимально возможный, так и максимально возможный ток короткого замыкания в характерных точках системы. Эти точки обозначены на схеме электроснабжения как 0, 1, 2, 3 и 4. В точке 0 необходимо рассчитать ток трёхфазного короткого замыкания, в точках 1 и 2 — трёхфазного и однофазного коротких замыканий. В точках 3 и 4 — только токи однофазного короткого замыкания, так как в них подключается однофазная нагрузка, поэтому трёхфазное короткое замыкание в конце линий практически невозможно.

Полное электрическое сопротивление цепи до точки короткого замыкания обычно носит активно-индуктивный характер. Поэтому в общем случае при возникновении короткого замыкания в цепи начинает протекать переходный процесс. Переходный ток при этом можно представить в виде суммы установившейся<sup>14</sup> и преходящей<sup>15</sup> составляющих. Однако на практике в целях выбора аппаратов защиты достаточно бывает рассчитать только действующее значение установившегося тока короткого замыкания, что и рассматривается далее.

Расчёт токов короткого замыкания проводится в соответствии с упрощённой методикой<sup>16</sup>, с введением нескольких допущений, согласно которым не учитываются: насыщение магнитных систем оборудования, ток намагничивания силового трансформатора, активные сопротивления контактных соединений, индуктивные сопротивления автоматических выключателей, влияние асинхронного двигателя и комплексной нагрузки на ток короткого замыкания, сопротивление электрической дуги в месте

---

<sup>14</sup> В технической литературе также используется термин «периодическая» составляющая, так как на переменном токе установившееся составляющая периодическая.

<sup>15</sup> В технической литературе также используются термин «апериодическая составляющая», так как преходящая составляющая при коротком замыкании обычно носит апериодический характер.

<sup>16</sup> ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Москва : Стандартинформ, 2006. 45 с.

короткого замыкания, изменение активного сопротивления проводников вследствие их нагрева током короткого замыкания, токи в параллельных ветвях и через защитное заземление  $PE$  проводника в месте его разделения на  $PE$  и  $N$ .

### 1.6.1 Трёхфазное короткое замыкание

При замыкании между собой одновременно трёх фаз  $L1, L2, L3$  ток короткого замыкания определяется напряжением обмотки низшего напряжения трансформатора  $U_{НН.ном}$ , а также сопротивлениями фазных проводников. Фазные жилы кабелей при трёхфазном коротком замыкании оказываются соединёнными в звезду, образуя собой симметричную нагрузку. В дополнение, к этой симметричной нагрузке приложена симметричная система напряжений от трансформатора, что вызывает протекание симметричной системы токов. Поэтому трёхфазное короткое замыкание называют *симметричным*.

Из-за симметричности цепи действующие значения токов во всех фазах равны, в связи с чем расчёт тока проводят только для одной фазы. Действующее значение установившейся составляющей линейного тока трёхфазного короткого замыкания в  $j$ -ой точке схемы, А, определяется по формуле

$$I_{КЗj}^{(3)} = \frac{U_{НН.ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma j}^2 + x_{\Sigma j}^2}}, \quad (1.25)$$

где  $j$  — номер характерной точки, в которой произошло короткое замыкание;  $U_{НН.ном}$  — номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, В;  $r_{\Sigma j}, x_{\Sigma j}$  — соответственно суммы активных и индуктивных сопротивлений одной из фаз цепи короткого замыкания от источника до точки  $j$ , Ом, рассчитываемые как

$$r_{\Sigma j} = r_T + \Sigma r_{kj} + \Sigma r_{aj}, \quad (1.26)$$

$$x_{\Sigma j} = x_c + x_T + \Sigma x_{kj}, \quad (1.27)$$

где  $\Sigma r_{kj}$  — сумма активных сопротивлений кабелей от трансформатора до точки  $j$ , Ом;  $\Sigma r_{aj}$  — сумма активных сопротивлений аппаратов от трансформатора до точки  $j$ , Ом (см. приложение Б);  $x_c$  — индуктивное сопротивление энергосистемы, приведённое к ступени низшего напряжения, принимается равным 0,8 мОм;  $\Sigma x_{kj}$  — сумма индуктивных сопротивлений кабелей от трансформатора до точки  $j$ , Ом.

### 1.6.2 Однофазное короткое замыкание

В общем случае режим однофазного короткого замыкания возникает при соединении между собой одной из фаз с нулевым проводником (с нулевым рабочим проводником  $N$ , с защитным проводником  $PE$  или с проводником  $PEN$ ). При этом оставшиеся две фазы остаются неповреждёнными, вследствие чего сопротивления фаз различны, и трёхфазная цепь работает в несимметричном режиме. Несимметричные режимы работы трёхфазных цепей рассчитываются по методу симметричных составляющих<sup>17</sup>, согласно которому возникающую при однофазном коротком замыкании несимметричную систему токов можно представить в виде суммы трёх симметричных систем токов — прямой, обратной и нулевой последовательностей. Для расчёта по методу симметричных составляющих вводятся эквивалентные схемы для каждой из последовательностей, а соответствующие активные и индуктивные сопротивления этих схем называют сопротивлениями прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Установившееся действующее значение тока при возникновении однофазного короткого замыкания в  $j$ -ой точке схемы в общем случае  $I_{КЗj}^{(1)}$ , А, определяется по формуле

$$I_{КЗj}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{НН.ном}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma j} + r_{0\Sigma j})^2 + (2x_{1\Sigma j} + x_{0\Sigma j})^2}}, \quad (1.28)$$

где  $j$  — номер точки, в которой произошло короткое замыкание;  $r_{1\Sigma j}$ ,  $x_{1\Sigma j}$  — суммарные активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности от источника до точки  $j$ , Ом;  $r_{0\Sigma j}$ ,  $x_{0\Sigma j}$  — суммарные активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности от источника до точки  $j$ .

Суммарные сопротивления прямой последовательности цепи короткого замыкания от источника до точки  $j$  принимаются равным рассчитанным ранее по формулам (1.26), (1.27) сопротивлениям фазы цепи короткого замыкания от источника до точки  $j$

$$r_{1\Sigma j} = r_{\Sigma j}, \quad (1.29)$$

$$x_{1\Sigma j} = x_{\Sigma j}. \quad (1.30)$$

---

<sup>17</sup> Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. 5-е изд., перераб. М. : Энергоатомиздат, 1989. Глава 11. С. 188.

Активное сопротивление нулевой последовательности цепи от источника до точки  $j$   $r_{0\Sigma j}$ , Ом, рассчитывается по формуле

$$r_{0\Sigma j} = r_{0т} + \Sigma r_{kj} + \Sigma r_{aj} + 3 \cdot \Sigma r_{н.п.j}, \quad (1.31)$$

где  $j$  — номер точки, в которой произошло короткое замыкание;  $r_{0т}$  — активное сопротивление нулевой последовательности трансформатора, Ом;  $\Sigma r_{kj}$  — сумма активных сопротивлений фазных жил кабелей от трансформатора до точки  $j$ , Ом;  $\Sigma r_{aj}$  — сумма активных сопротивлений коммутационных аппаратов от трансформатора до точки  $j$ , Ом (см. приложение Б);  $\Sigma r_{н.п.j}$  — сумма активных сопротивлений нулевых проводников (в зависимости от точки КЗ  $N$ ,  $PEN$  или  $PE$  проводники) от трансформатора до точки  $j$ , Ом.

За счёт того, что обмотка высшего напряжения силового трансформатора соединена в треугольник, то в линии на стороне высшего напряжения не могут протекать токи нулевой последовательности, поэтому при расчёте суммарного индуктивного сопротивления нулевой последовательности  $x_{0\Sigma j}$ , Ом, не учитывается индуктивное сопротивление энергосистемы  $x_c$

$$x_{0\Sigma j} = x_{0т} + \Sigma x_{kj} + 3 \cdot \Sigma x_{н.п.j}, \quad (1.32)$$

где  $j$  — номер точки, в которой произошло короткое замыкание;  $x_{0т}$  — индуктивное сопротивление нулевой последовательности трансформатора, Ом;  $\Sigma x_{kj}$  — сумма индуктивных сопротивлений кабелей от трансформатора до точки  $j$ , Ом;  $\Sigma x_{н.п.j}$  — сумма индуктивных сопротивлений нулевых проводников от трансформатора до точки  $j$ , Ом.

При соединении обмоток трансформатора по схеме «треугольник-звезда» можно принять, что

$$r_{0т} = r_{т}, \quad (1.33)$$

$$x_{0т} = x_{т}. \quad (1.34)$$

Суммарное активное  $\Sigma r_{н.п.j}$  и индуктивное  $\Sigma x_{н.п.j}$  сопротивления нулевых проводников принимаются равными сумме сопротивлений соответствующих кабелей и тех коммутационных аппаратов, которые разрывают своей контактной системой нулевые проводники ( $N$  или  $PEN$ ). Если площади поперечных сечений фазных и нулевых проводников для всех кабелей выбраны одинаковыми, то сопротивления фазных и нулевых

жил для всех кабелей равны. Таким образом, в рамках проекта выполняются следующие соотношения

$$\Sigma r_{\text{н.п}j} = \Sigma r_{kj} + \Sigma r_{aj}^{\text{н.п}}, \quad (1.35)$$

$$\Sigma x_{\text{н.п}j} = \Sigma x_{kj}, \quad (1.36)$$

где  $\Sigma r_{aj}^{\text{н.п}}$  — сумма активных сопротивлений коммутационных аппаратов, разрывающих нулевой провод.

С учётом допущений (1.29)–(1.36) формула (1.28) принимает следующий упрощённый расчётный вид

$$I_{\text{КЗ}j}^{(1)} = \frac{U_{\text{нн.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(r_{\Sigma j} + \Sigma r_{kj} + \Sigma r_{aj}^{\text{н.п}}\right)^2 + \left(x_{\Sigma j} - x_c + \Sigma x_{kj}\right)^2}}. \quad (1.37)$$

### 1.6.3 Пример расчёта ожидаемых токов короткого замыкания

Расчёт выполнен для схемы электроснабжения рис. 1 в соответствии с исходными числовыми данными табл. 1.2.

Таблица 1.2

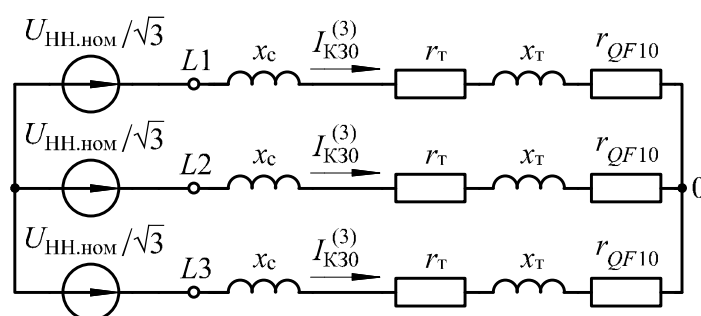
#### Исходные данные для расчёта токов короткого замыкания

Параметры трансформатора			Параметры электродв.	Площади попереч. сеч. жил кабелей		Сопротивления жил кабелей			
$I_{\text{нн.ном}}$ , А	$r_{\text{т}}$ , МОм	$x_{\text{т}}$ , МОм	$I_{\text{д.ном}}$ , А	$s_{\text{к1}}$ , мм <sup>2</sup>	$s_{\text{к2}}$ , мм <sup>2</sup>	$r_{\text{к1}}$ , МОм	$x_{\text{к1}}$ , МОм	$r_{\text{к2}}$ , МОм	$x_{\text{к2}}$ , МОм
909,3	3,3	13,6	14,8	10	2,5	113,5	4,3	90,8	1,1

### Короткое замыкание в точке 0

Трансформатор  $T1$  получает питание от энергосистемы, которую условно можно представить источником синусоидальной ЭДС с действующим значением  $U_{\text{нн.ном}}$  и внутренним индуктивным сопротивлением энергосистемы  $x_c$ . Значение этого сопротивления

определяется свойствами энергосистемы и в рамках проекта принимается равным 0,8 мОм. Делая обход схемы от источника питания к точке 0, в цепь короткого замыкания (рис. 1.1), помимо сопротивления энергосистемы  $x_c$ , будут входить активное  $r_T$  и индуктивное  $x_T$  сопротивления трансформатора, а также активное сопротивление автоматического выключателя  $QF10$   $r_{QF10}$ , определяемое из стандартного ряда значений по табл. Б.2 приложения Б. На верхнем уровне электроснабжения зачастую применяются автоматические выключатели с расцепителями, имеющими регулируемые уставки срабатывания (см. раздел 2.10). Предварительное значение номинального тока  $QF10$  определяется по номинальному току трансформатора  $I_{HH,ном}$  с округлением в большую сторону до ближайшего стандартного значения из дискретного ряда токов табл. Б.2. В рассматриваемом примере номинальный ток трансформатора  $I_{HH,ном} = 909,3$  А, ближайшее стандартное значение номинального тока по табл. Б.2. составляет 1000 А, что соответствует сопротивлению автоматического выключателя  $r_{QF10} = 0,05$  мОм.



**Рис. 1.1. Схема замещения при трёхфазном коротком замыкании в точке 0**

Для рассматриваемого случая короткого замыкания в точке 0 формула (1.25) принимает следующий вид

$$I_{K30}^{(3)} = \frac{U_{HH,ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 0}^2 + x_{\Sigma 0}^2}}, \quad (1.38)$$

где  $r_{\Sigma 0}$ ,  $x_{\Sigma 0}$  — соответственно суммы активных и индуктивных сопротивлений фазы цепи короткого замыкания от источника до точки 0, Ом, рассчитываемые как

$$r_{\Sigma 0} = r_T + r_{QF10} = 3,3 \cdot 10^{-3} + 0,05 \cdot 10^{-3} = 3,4 \text{ мОм}, \quad (1.39)$$

$$x_{\Sigma 0} = x_c + x_T = 0,8 \cdot 10^{-3} + 13,6 \cdot 10^{-3} = 14,4 \text{ мОм}. \quad (1.40)$$



Подставляя числовые данные в (1.38), определяется установившееся действующее значение тока трёхфазного короткого замыкания в точке 0

$$I_{\text{кз0}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(3,4 \cdot 10^{-3})^2 + (14,4 \cdot 10^{-3})^2}} = 15,61 \text{ кА.}$$

### Короткое замыкание в точке 1

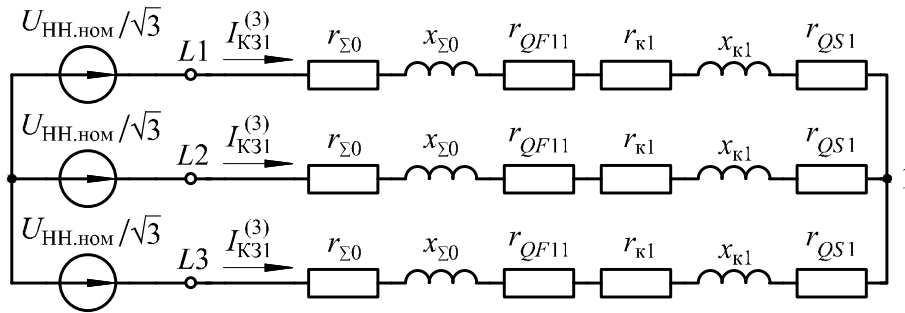
*Трёхфазное короткое замыкание.* При возникновении трёхфазного короткого замыкания в точке 1, находящейся на вводе НКУ, в каждую фазу цепи короткого замыкания помимо индуктивного сопротивления энергосистемы  $x_c$ , активного и индуктивного сопротивления трансформатора  $r_t, x_t$ , а также активного сопротивления автоматического выключателя  $QF10$   $r_{QF10}$ , дополнительно входят активное сопротивление автоматического выключателя  $QF11$   $r_{QF11}$ , активное и индуктивное сопротивления кабеля КБ1  $r_{к1}, x_{к1}$  и активное сопротивление выключателя нагрузки  $QS1$   $r_{QS1}$ . Другими словами, схема замещения цепи при коротком замыкании в точке 1 может быть представлена с использованием рассчитанных ранее суммарных активных и индуктивных сопротивлений фазы от источника до точки 0  $r_{\Sigma 0}, x_{\Sigma 0}$ , и сопротивлений элементов схемы, находящихся между точками 0 и 1 (рис. 1.2).

Аппарат  $QF11$ , как и рассмотренный ранее  $QF10$ , находится на уровне КТП и поэтому зачастую снабжается расцепителем с регулируемыми уставками срабатывания (см. раздел 2.10). Предварительное значение номинального тока  $QF11$  определяется *по длительно допустимому току кабеля* КБ1  $I_{Z1}$  с округлением в большую сторону до ближайшего стандартного значения из дискретного ряда токов по табл. Б.2.

В рассматриваемом примере площадь поперечного сечения кабеля КБ1 составляет 10 мм<sup>2</sup>. В соответствии с табл. 1.3.6. ПУЭ длительно допустимый ток кабеля с сечением 10 мм<sup>2</sup> и тремя нагруженными жилами составляет 55 А. Ближайшее большее стандартное значение номинального тока по табл. Б.2. составляет 63 А, что соответствует активному сопротивлению автоматического выключателя  $r_{QF11} = 1,2$  мОм.

Выключатель-разъединитель (см. раздел 2.9) не имеет защитных функций. Поэтому он должен быть защищён автоматическим выключателем  $QF11$ . При этом настройка электронного расцепителя  $QF11$  будет выполнена так, чтобы обеспечить защиту кабеля КБ1. Таким образом, для гарантированной защиты выключателя-разъединителя  $QS1$

его условный тепловой ток должен быть не меньше, чем длительно допустимый ток кабеля КБ1. В связи с этим в первом приближении можно принять сопротивление  $QS1$  равным сопротивлению автоматического выключателя  $QF11$ .



**Рис. 1.2.** Схема замещения при трёхфазном коротком замыкании в точке *1*

Для рассматриваемого случая трёхфазного короткого замыкания в точке *1* формула (1.25) принимает следующий вид

$$I_{K31}^{(3)} = \frac{U_{HH,НОМ}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 1}^2 + x_{\Sigma 1}^2}}, \quad (1.41)$$

где  $r_{\Sigma 1}$ ,  $x_{\Sigma 1}$  — соответственно суммы активных и индуктивных сопротивлений фазы цепи короткого замыкания от источника до точки *1*, Ом, определяемые по формулам

$$\begin{aligned} r_{\Sigma 1} &= r_{\Sigma 0} + r_{QF11} + r_{к1} + r_{QS1} = \\ &= 3,4 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} + 113,5 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} = 119,3 \text{ мОм}, \end{aligned} \quad (1.42)$$

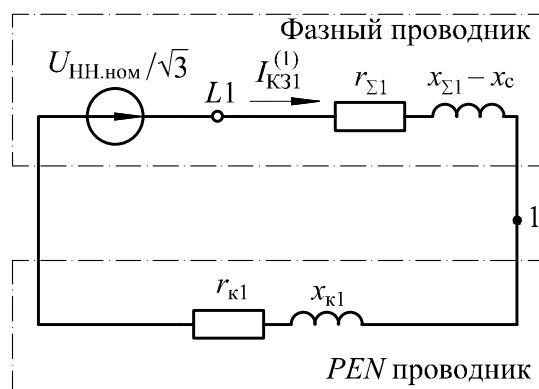
$$x_{\Sigma 1} = x_{\Sigma 0} + x_{к1} = 14,4 \cdot 10^{-3} + 4,3 \cdot 10^{-3} = 18,7 \text{ мОм}. \quad (1.43)$$

Подставляя полученные числовые данные в (1.41), определяется значение тока трёхфазного короткого замыкания в точке *1*

$$I_{K31}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(119,3 \cdot 10^{-3})^2 + (18,7 \cdot 10^{-3})^2}} = 1,91 \text{ кА}$$

*Однофазное короткое замыкание.* В точке *1* возможно замыкание между собой фазного проводника *L* и *PEN*-проводника. При этом ток однофазного короткого замыкания протекает по петле «фаза–нуль», состоящей из фазной *L* и *PEN* жил кабеля КБ1, а также

электрооборудования, расположенного в этой цепи. При этом необходимо учесть, что по однолинейной схеме электроснабжения проводник *PEN* идёт в обход коммутационных аппаратов и присоединяется к общей точке обмотки низшего напряжения силового трансформатора. За счёт этого в суммарное сопротивление *PEN*-проводника не входят сопротивления коммутационных аппаратов и силового трансформатора. Схема замещения цепи короткого замыкания для такого случая представлена на рис. 1.3.



**Рис. 1.3.** Схема замещения при однофазном коротком замыкании в точке *1*

Таким образом, формула (1.37) для случая однофазного короткого замыкания в точке *1* принимает следующий расчётный вид

$$I_{K31}^{(1)} = \frac{U_{HH,ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(r_{\Sigma 1} + r_{к1})^2 + (x_{\Sigma 1} - x_c + x_{к1})^2}} = \quad (1.44)$$

$$= \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(119,3 \cdot 10^{-3} + 113,5 \cdot 10^{-3})^2 + (18,7 \cdot 10^{-3} - 0,8 \cdot 10^{-3} + 4,3 \cdot 10^{-3})^2}} =$$

$$= 0,99 \text{ кА.}$$

### Короткое замыкание в точке 2

*Трёхфазное короткое замыкание.* Аналогично предыдущим случаям схема замещения цепи при коротком замыкании в точке 2 может быть представлена с использованием рассчитанных ранее суммарных активных и индуктивных сопротивлений фазы от источника до точки 1  $r_{\Sigma 1}$ ,  $x_{\Sigma 1}$ , и сопротивлений элементов схемы, находящихся между точками 1 и 2 (рис. 1.4). Важно отметить, что при расчёте сопротивлений короткого

замыкания в точке 2 не учитываются сопротивления параллельных линий КБ2–КБ7. Автоматический выключатель  $QF1$  предназначен для защиты электродвигателя и зачастую имеет либо регулируемый тепловой расцепитель, либо устанавливается в комбинации с тепловым реле. По этой причине сопротивление автоматического выключателя  $QF1$  в первом приближении определяется по номинальному току электродвигателя  $M1$  с округлением до ближайшего большего или равного стандартного значения из дискретного ряда таблицы Б.2. В рассматриваемом примере номинальный ток электродвигателя 14,8 А. Ближайшее большее стандартное значение тока по табл. Б.2. составляет 16 А, что соответствует активному сопротивлению автоматического выключателя  $r_{QF1} = 8,5$  мОм. Номинальный ток контактора в первом приближении определяется по тем же соображениям. Поэтому в рамках проекта принимается  $r_{KM1} = r_{QF1}$ .

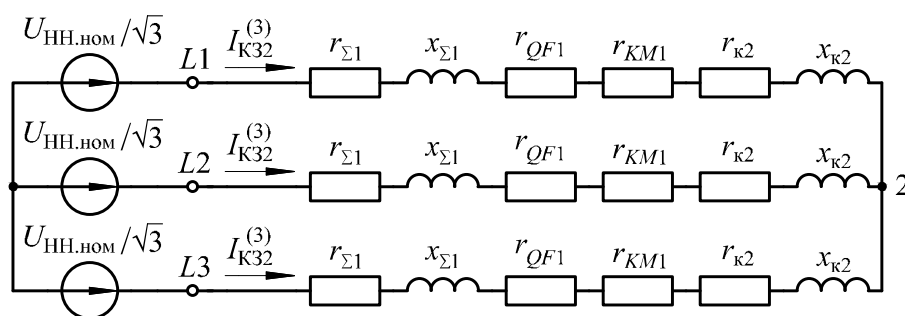


Рис. 1.4. Схема замещения при трёхфазном коротком замыкании в точке 2

Формула (1.25) для рассматриваемого случая трёхфазного короткого замыкания в точке 2 принимает следующий вид

$$I_{K32}^{(3)} = \frac{U_{\text{НН.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma 2}^2 + x_{\Sigma 2}^2}}, \quad (1.45)$$

где  $r_{\Sigma 2}$ ,  $x_{\Sigma 2}$  — соответственно суммы активных и индуктивных сопротивлений фазы цепи короткого замыкания от источника до точки 2, Ом, определяемые по формулам

$$\begin{aligned} r_{\Sigma 2} &= r_{\Sigma 1} + r_{QF1} + r_{KM1} + r_{k2} = \\ &= 119,3 \cdot 10^{-3} + 8,5 \cdot 10^{-3} + 8,5 \cdot 10^{-3} + 90,8 \cdot 10^{-3} = 227,1 \text{ мОм}, \end{aligned} \quad (1.46)$$

$$x_{\Sigma 2} = x_{\Sigma 1} + x_{k2} = 18,7 \cdot 10^{-3} + 1,1 \cdot 10^{-3} = 19,8 \text{ мОм}. \quad (1.47)$$

Подставляя числовые данные в (1.45), определяется значение тока трёхфазного короткого замыкания в точке 2

$$I_{K32}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(227,1 \cdot 10^{-3})^2 + (19,8 \cdot 10^{-3})^2}} = 1,01 \text{ кА.}$$

*Однофазное короткое замыкание.* В точке 2 возможно замыкание между собой фазного  $L$  и  $PE$  проводников. При этом ток однофазного короткого замыкания протекает по петле «фаза–нуль», состоящей из фазной  $L$  и  $PE$  жил кабеля КБ2, фазной  $L$  и  $PEN$  жил кабеля КБ1, а также электрооборудования, расположенного в этой цепи. При этом по схеме электроснабжения проводники  $PE$  и  $PEN$  идут в обход коммутационных аппаратов. Схема замещения цепи короткого замыкания для такого случая представлена на рис. 1.5.

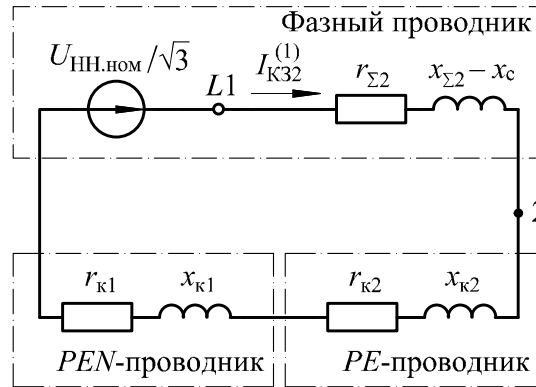


Рис. 1.5. Схема замещения при однофазном коротком замыкании в точке 2

Таким образом, после преобразований формула (1.37) для определения тока однофазного короткого замыкания в точке 2 принимает вид

$$I_{K32}^{(1)} = \frac{U_{HH,ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(r_{\Sigma 2} + r_{k1} + r_{k2})^2 + (x_{\Sigma 2} - x_c + x_{k1} + x_{k2})^2}} = \quad (1.48)$$

$$= \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(227,1 \cdot 10^{-3} + 113,5 \cdot 10^{-3} + 90,8 \cdot 10^{-3})^2 + (19,8 \cdot 10^{-3} - 0,8 \cdot 10^{-3} + 4,3 \cdot 10^{-3} + 1,1 \cdot 10^{-3})^2}} = 0,53 \text{ кА}$$

В проекте аналогично приведённым примерам необходимо рассчитать токи однофазного короткого замыкания в точках 3 и 4. В общем случае в точке 4 возможно замыкание фазного проводника  $L$  с рабочим нулевым проводником  $N$  или с защитным проводником  $PE$ . В проекте рекомендуется рассмотреть первый случай, то есть замыкание  $L$  и  $N$  проводников. Важно отметить, что автоматические выключатели и АВДТ в линиях 3 и 4 предназначены для защиты кабелей и имеют нерегулируемые расцепители. В связи с этим предварительное значение их номинального тока по приложению Б определяется по длительно допустимому току отходящих от них кабелей с округлением до ближайшего меньшего или равного стандартного значения из дискретного ряда табл. Б.2.

Для самостоятельной оценки корректности полученных значений токов короткого замыкания необходимо проверить выполняемость следующих соотношений:

$$I_{K30}^{(3)} > I_{K31}^{(3)} > I_{K32}^{(3)}, \quad (1.49)$$

$$I_{K31}^{(1)} > I_{K32}^{(1)}, I_{K33}^{(1)}, I_{K34}^{(1)}, \quad (1.50)$$

$$\frac{I_{K31}^{(3)}}{I_{K31}^{(1)}} \approx 1, 1 \dots 2, \quad (1.51)$$

$$\frac{I_{K32}^{(3)}}{I_{K32}^{(1)}} \approx 1, 1 \dots 2. \quad (1.52)$$

## Контрольные вопросы

1. В чём состоит причина возникновения ударного пускового тока во время пуска электродвигателя?
2. Как определить номинальный ток электродвигателя, зная его мощность, номинальное напряжение, коэффициент мощности и КПД?
3. Чем опасны большие значения падения напряжения в линии?
4. Почему во время пуска электродвигателя падения напряжений в линиях больше, чем при работе электродвигателя в номинальном режиме?
5. Что такое короткое замыкание и чем оно опасно?
6. В чём отличия трёхфазного короткого замыкания от однофазного? Укажите на схеме электроснабжения примеры неправильных соединений, которые приводят к возникновению однофазного и трёхфазного коротких замыканий?
7. Чем определяется значение тока короткого замыкания?
8. Покажите контур тока при возникновении короткого замыкания на вводе НКУ.
9. В каких случаях для расчёта тока короткого замыкания применяется метод симметричных составляющих?

## 2 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### 2.1 Общие рекомендации

Выбор аппаратов проводится с использованием каталогов оборудования, которые публикуются в *PDF*-формате и доступны для скачивания на официальных сайтах производителей. При выборе аппарата в документации по проекту необходимо приводить ссылку на использованный каталог с обязательным указанием номера страницы, с которой взята информация. *В учебных целях не рекомендуется использовать вместо каталогов веб-формы на сайтах производителей, так как без должной подготовки это зачастую приводит к некорректному выбору.*

При использовании каталогов необходимо помнить, что большинство из них переводятся с иностранного языка, в связи с чем некоторые термины могут быть искажены и не соответствовать действующим стандартам. Однако эти отличия чаще всего незначительны и не приводят к искажению сути. В то же время буквенное обозначение величины стандартизовано и не подлежит переводу. В связи с этим рекомендуется в первую очередь обращать внимание на буквенное обозначение величин, приведённых в каталогах, а затем уже на их текстовую интерпретацию.

При выполнении второй части проекта рекомендуется выбирать аппараты в следующей последовательности:

1) автоматические выключатели и устройства дифференциальной защиты в линиях с однофазной нагрузкой (*QF2–QF4, FD1–FD3*);

2) автоматический выключатель для защиты электродвигателя *QF1*, контактор *KM1*, тепловое реле *KK1*, а также предохранитель *FU1* и кнопки *SB1, SB2* в цепь управления и защиты электродвигателя;

3) выключатель нагрузки *QS1*;

4) автоматические выключатели в общую линию КБ1 *QF11* и в линию с трансформатором *QF10*, а также электронные расцепители к ним.

Рекомендуется в документации по проекту приводить все критерии выбора аппаратов в табличном виде как это сделано ниже, а также изображение выбранной модели или серии аппарата с необходимым количеством полюсов из каталога или интернета. Для текущего контроля результаты выбора аппаратов заносятся в лист проверки по форме приложения Л.

## 2.2 Автоматические выключатели в линиях с однофазной нагрузкой *QF2–QF4*

Для линий с однофазной нагрузкой рекомендуется применять *модульные автоматические выключатели*. Термин «модульные» отражает стандартизированные размеры этих устройств, в частности, ширина модульного аппарата устанавливается кратной 17,5 мм (18 мм)<sup>18</sup>. Этот размер иногда называется один *DIN*-модуль<sup>19</sup> или просто один модуль по названию установившего его немецкого стандарта *DIN* 43 880. Например, если однополюсный модульный автоматический выключатель имеет ширину 17,5 мм, то двухполюсный — 35 мм и т. д. Унифицированные размеры модульного оборудования значительно упрощают конструирование НКУ.

Зачастую модульное оборудование имеет встроенное в корпус крепление на так называемую *DIN*-рейку, представляющую собой металлический профиль стандартной формы<sup>20</sup>. Благодаря этому установка модульного оборудования не требует винтового или иного резьбового соединения, что значительно облегчает монтаж оборудования в НКУ.

Модульные автоматические выключатели из-за конструктивных особенностей имеют относительно небольшие *номинальные токи*  $I_n$  до 125 А, невысокую *номинальную наибольшую отключающую способность*<sup>21</sup>  $I_{cn}$ , обычно не превышающую 25 кА, а также снабжаются расцепителями с нерегулируемыми уставками.

Упрощённая конструкция в совокупности с массовым производством определяет относительно низкую стоимость модульных

---

<sup>18</sup> Стандарт *DIN* 43 880. Определяет ширину одного модуля как 17,5 мм, но при этом расстояния между центрами двух соседних одномодульных аппаратов определяется как 18 мм т.е. подразумевается, что между несколькими установленными рядом аппаратами есть зазор 0,25 мм. В связи с этим у некоторых производителей таких как *Schneider Electric*, КЭАЗ, *IEK*, *Siemens* ширина одного модуля равна 18 мм, в то время как у других *ABB*, *Hager* — 17,5 мм.

<sup>19</sup> *DIN* — аббревиатура немец. *Deutsches Institut für Normung*, (немецкий институт по стандартизации).

<sup>20</sup> ГОСТ Р МЭК 60715-2003 Аппаратура распределения и управления низковольтная. Установка и крепление на рейках электрических аппаратов в низковольтных комплектных устройствах распределения и управления.

<sup>21</sup> У многих производителей в линейке модульных автоматических выключателях выделяют три вида *наибольших отключающих способностей*, так как они могут использоваться как в бытовом секторе, так и в промышленности: 1)  $I_{cn}$  — *номинальная наибольшая отключающая способность* ГОСТ Р 50345 (для аппаратов бытового назначения); 2)  $I_{cs}$  — *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность*; 3)  $I_{cu}$  — *номинальная предельная наибольшая отключающая способность*.



автоматических выключателей. Кроме того, стандартные габаритные размеры и простота монтажа значительно облегчают работу при проектировании и сборке НКУ.

Перечисленные особенности модульного оборудования делают его одним из самых популярных решений для бытового и маломощного промышленного применения. Именно модульные аппараты стоят в щитке во многих квартирах и домах.

### 2.2.1 Критерии выбора

По заданию через автоматические выключатели  $QF2-QF4$  питается нагрузка одинаковой мощности. Также они защищают кабели одинакового поперечного сечения и длины. Вследствие этого автоматические выключатели  $QF2-QF4$  полностью идентичны, и для краткости дальнейшие рассуждения приводятся только для автоматического выключателя  $QF2$ , от которого требуется соответствие ряду критериев, согласно которым он должен обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока  $AC$ .

2. Присоединение и коммутацию необходимого по однолинейной схеме числа проводников. Например, в линии КБЗ автоматический выключатель  $QF2$  должен иметь один полюс, так как он разрывает только фазный проводник  $L1$ , а *нулевой рабочий проводник  $N$*  проходит в обход  $QF2$ . В тех случаях, когда автоматический выключатель разрывает два проводника он должен иметь два полюса, при этом в рамках проекта возможно использование двух исполнений:

- 2.1. Исполнение  $2P$ , в котором расцепители установлены в двух полюсах. Все полюса такого автоматического выключателя при срабатывании размыкаются синхронно. Возникновение и гашение электрической дуги также происходит в двух полюсах, что обеспечивает высокую отключающую способность<sup>22</sup>.

- 2.2. Исполнение  $1P+N$ , в котором расцепитель установлен только в одном фазном полюсе. При срабатывании фазный полюс размыкается раньше нейтрального, таким образом, электрическая дуга возникает и гасится только в фазном полюсе. Вследствие того, что дуга гасится только

---

<sup>22</sup> Исполнение автоматических выключателей  $2P$  обязательно к применению при подключении однофазной нагрузки на линейное напряжение сети, а также при питании однофазной нагрузки через трансформатор с незаземленной вторичной обмоткой. В таких случаях оба питающих нагрузку проводника имеют потенциал относительно земли. В связи с этим замыкание одного из питающих проводников, например на заземлённый корпус, вызовет протекание тока короткого замыкания только через один из полюсов автоматического выключателя, и если в этом полюсе не окажется расцепителя, то аппарат не среагирует на аварию. Это диктует необходимость наличия расцепителей в двух полюсах автоматического выключателя, что соответствует исполнению  $2P$ .

одним полюсом, а не двумя, как в исполнении  $2P$ , такие автоматические выключатели имеют меньшую по сравнению с исполнением  $2P$  отключающую способность и требуют при установке строгого соблюдения порядка подключения фазного  $L$  и нулевого рабочего  $N$  проводников.

3. Работу в сети с заданным напряжением между фазным и нулевым рабочим проводником, для чего его *номинальное рабочее напряжение*  $U_e$  должно удовлетворять условию

$$U_{e.QF2} \geq U_{\text{НН.ном}} / \sqrt{3}. \quad (2.1)$$

4. Отключение максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания. Для автоматического выключателя  $QF2$  наиболее тяжёлым режимом является возникновение трёхфазного короткого замыкания непосредственно на его выводах. Такая авария может возникнуть при одновременном электрическом соединении между собой выводов  $QF2$ ,  $QF3$  и  $QF4$ . В этом случае ожидаемый ток короткого замыкания, протекающий через  $QF2$ , принимает максимально возможное значение. Пренебрегая внутренним сопротивлением автоматических выключателей, за ожидаемый ток трёхфазного короткого замыкания на их выводах принимается ток трёхфазного короткого замыкания в точке  $I$ . Таким образом, для надёжной работы автоматического выключателя  $QF2$  необходимо, чтобы его *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность*  $I_{cs}$  удовлетворяла условию

$$I_{cs.QF2} \geq I_{K31}^{(3)}. \quad (2.2)$$

5. Защиту кабеля КБЗ при помощи мгновенного размыкания цепи в случае возникновения коротких замыканий в точках системы, расположенных ниже  $QF2$  по схеме электроснабжения, для чего необходимо, чтобы максимальное значение диапазона *токов мгновенного расцепления*  $I_i$  было не больше, чем ток однофазного КЗ в точке  $3^{23}$

$$\max(I_{i.QF2}) \leq I_{K33}^{(1)}. \quad (2.3)$$

---

<sup>23</sup>Диапазон *токов мгновенного расцепления*  $I_i$  определяется для *типов характеристики* мгновенного расцепления  $B$ ,  $C$ ,  $D$  как  $(3-5) \cdot I_n$ ,  $(5-10) \cdot I_n$  и  $(10-20) \cdot I_n$  соответственно. В том случае, если условию (2.3) удовлетворяет сразу несколько *типов характеристик* мгновенного расцепления, то в рамках проекта рекомендуется для линий с осветительной нагрузкой использовать выключатель с типом характеристики мгновенного расцепления  $B$ , а для розеточных групп — с типом  $C$ . Однако в общем случае для точного выбора *типа характеристики* мгновенного расцепления, помимо условия (2.3), необходимо учитывать пусковые токи защищаемого оборудования.

6. Длительное протекание рабочих токов нагрузки, для чего необходимо, чтобы его *номинальный ток*  $I_n$  был не меньше расчётного тока кабеля КБЗ

$$I_{n.QF2} \geq I_{B3}. \quad (2.4)$$

7. Защиту кабеля КБЗ в случае возникновения перегрузок со стороны нагрузки. При этом автоматический выключатель должен как можно меньше ограничивать максимально допустимую нагрузку кабеля КБЗ, для чего необходимо, чтобы его *номинальный ток*  $I_n$  был как можно ближе к длительно допустимому току защищаемого кабеля, но не превышал его

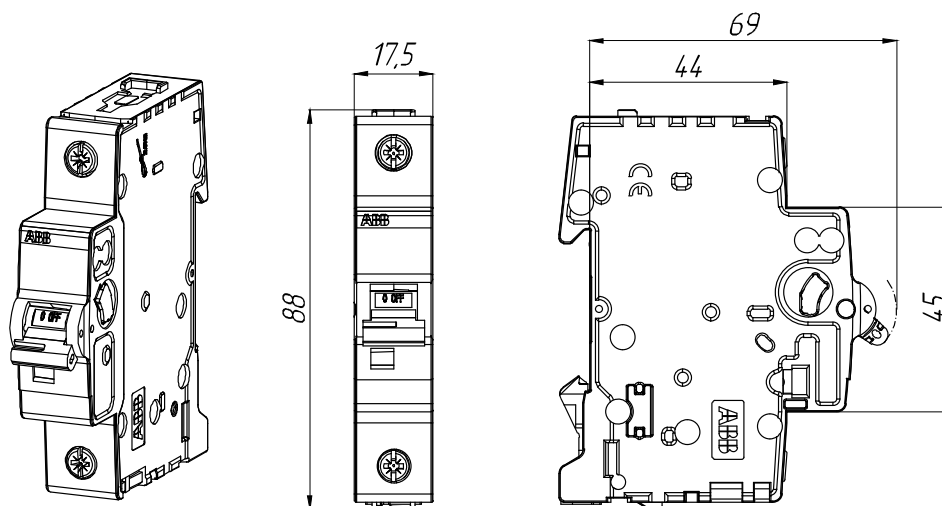
$$I_{n.QF2} \leq I_{Z3}. \quad (2.5)$$

В табл. 2.1 и на рис. 2.1. приведён пример выбора автоматического выключателя  $QF2$ . В приложении В представлен алгоритм выбора автоматического выключателя по техническому каталогу модульного оборудования [1].

Таблица 2.1

### Пример выбора автоматического выключателя $QF2$

№ крит.	Исходные данные		Усл.	Предварительный вариант аппарата S 201 B16	
1	Род тока	АС	=	Род тока <i>главной цепи</i>	АС
2	Число коммутируемых проводников	1	=	<i>Кол-во полюсов</i>	1
3	Ном. фазное напр. сети $U_{\text{HH.ном}} / \sqrt{3}$ , В	230	≤	<i>Номинальное рабочее напряжение, <math>U_{e.QF2}</math>, В</i>	230
4	Ток трёхфазного КЗ в т. 1 $I_{K31}^{(3)}$ , кА	1,91	≤	<i>Ном. рабочая наибольшая отключающая способность (при <math>U_{e.QF2}</math>), <math>I_{cs.QF2}</math>, кА</i>	7,5
5	Ток однофазного КЗ в т. 3 $I_{K33}^{(1)}$ , кА	0,23	≥	Макс. знач. <i>диап. токов мгновенного расц.</i> $\max(I_{i.QF2})$ , кА	<i>Тип хар-ки мгнов. расц. В</i> $\max\{(3-5)I_n\} = 0,08$
6	Расч. ток нагр. $I_{B3}$ , А	2,4	≤	<i>Номинальный ток <math>I_{n.QF2}</math>, А</i>	16
7	Длительно допустимый ток кабеля КБЗ $I_{Z3}$ , А	19	≥		
Вывод: модульный автоматический выключатель S 201 B16 полностью удовлетворяет всем критериям.					



**Рис. 2.1. Общий вид и основные размеры автоматического выключателя S 201 B16**

## **2.3 Устройства дифференциальной защиты в линиях с однофазной нагрузкой**

В качестве устройств дифференциальной защиты рекомендуется использовать модульное оборудование. В общем случае возможно применение двух типов устройств дифференциальной защиты:

1. Выключатели дифференциального тока (ВДТ), также иногда называемые как устройства защитного отключения (УЗО), реагирующие на возникновение тока утечки. Возникновение тока утечки в линии приводит к появлению дифференциального тока в главной цепи ВДТ, что и вызывает расцепление<sup>24</sup>.

2. Автоматические выключатели дифференциального тока (АВДТ). Такие аппараты объединяют в себе функции автоматических выключателей и ВДТ.

### **2.3.1 Критерии выбора АВДТ FD1**

В рамках проекта от АВДТ требуется соответствие ряду критериев, согласно которым он должен обеспечивать:

<sup>24</sup> Термин «дифференциальный» произошёл от англ. *difference* — разница, разность. В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60755–2012 под дифференциальным или остаточным током подразумевается действующее значение векторной суммы мгновенных значений токов, протекающих в главной цепи устройства дифференциальной защиты.

1. Мгновенное расцепление при возникновении *синусоидального переменного и пульсирующего постоянного дифференциальных токов*. Для обеспечения этого требования необходимо выбирать устройства дифференциальной защиты *типа А*.

2. Коммутацию необходимого числа проводников, которое определяется согласно схеме электроснабжения. Для однофазной нагрузки устройство дифференциальной защиты должно иметь два полюса (в случае АВДТ исполнение  $2P$  или  $1P+N$ ).

3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением между фазным и нулевым рабочим проводником, для чего *номинальное рабочее напряжение* аппарата  $U_e$  должно удовлетворять условию

$$U_{e.FD1} \geq U_{\text{НН.ном}} / \sqrt{3}. \quad (2.6)$$

4. Работу в сети переменного тока частотой 50 Гц.

5. Отключение максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания. Для АВДТ  $FD1$  наиболее тяжёлым режимом является возникновение трёхфазного короткого замыкания при электрическом соединении между собой выводов  $FD1$ ,  $FD2$  и  $FD3$ . В этом случае ожидаемый ток короткого замыкания через  $FD1$  будет максимален. Пренебрегая внутренним сопротивлением АВДТ, за ожидаемый ток трёхфазного короткого замыкания на его выводах принимается ток трёхфазного короткого замыкания в точке  $I_{K31}^{(3)}$ . Таким образом, для корректной работы АВДТ  $FD1$  необходимо, чтобы его *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность*  $I_{cs}$  удовлетворяла условию

$$I_{cs.FD1} \geq I_{K31}^{(3)}. \quad (2.7)$$

6. Мгновенное расцепление цепи при *возникновении дифференциального тока* заданного значения. Для защиты человека от поражения электрическим током это значение не должно превосходить 30 мА. Для обеспечения этого требования необходимо, чтобы *номинальный отключающий дифференциальный ток*<sup>25</sup>  $I_{\Delta n}$  аппарата удовлетворял условию

$$I_{\Delta n.FD1} \leq 30 \text{ мА}. \quad (2.8)$$

---

<sup>25</sup> Термин в соответствии с ГОСТ Р 51326.1–99. В технической литературе также используется термины «номинальная чувствительность», «чувствительность», «номинальный дифференциальный ток».

Предпочтительное значение *номинального отключающего дифференциального тока*  $I_{\Delta n}$  для устройств дифференциальной защиты на розеточных группах в проекте составляет 30 мА<sup>26</sup>.

7. Длительное протекание расчётных токов нагрузки, для чего необходимо, чтобы его *номинальный ток*  $I_{n.FD1}$  был не меньше расчётного тока в кабеле КБЗ

$$I_{n.FD1} \geq I_{B6}. \quad (2.9)$$

8. Защиту кабеля КБ6 в случае возникновения перегрузок со стороны нагрузки. При этом АВДТ должен как можно меньше ограничивать максимально допустимую нагрузку кабеля КБ6, для чего необходимо, чтобы его *номинальный ток*  $I_n$  был как можно ближе к длительно допустимому току защищаемого кабеля, но не превышал его

$$I_{n.FD1} \leq I_{Z6}. \quad (2.10)$$

9. Защиту кабеля КБ6 при помощи *мгновенного расцепления* в случае возникновения коротких замыканий в точках системы, расположенных ниже  $FD2$  на схеме электроснабжения, для чего необходимо, чтобы максимальное значение *диапазона токов мгновенного расцепления*  $I_i$  было не больше, чем ток однофазного короткого замыкания в точке 4

$$\max(I_{i.FD1}) \leq I_{K34}^{(1)}. \quad (2.11)$$

### 2.3.2 Критерии выбора ВДТ

При выборе ВДТ справедливы все критерии, приведённые выше для АВДТ, кроме критериев 5, 8 и 9, так как ВДТ не имеет защиты от сверхтоков. В связи с этим последовательно и выше ВДТ по схеме электроснабжения всегда устанавливается автоматический выключатель, обеспечивающий как защиту отходящих кабелей, так и защиту самого ВДТ от сверхтоков. Последнее в рамках одного производителя обычно обеспечивается, если *номинальный ток* ближайшего вышестоящего относительно ВДТ автоматического выключателя не превышает *номинальный ток* ВДТ.

---

<sup>26</sup> Меньшие значения *номинального отключающего дифференциального тока*  $I_{\Delta n}$  увеличивают степень защищённости от поражения электрическим током, но при этом повышают вероятность ложных срабатываний аппарата из-за наличия естественных утечек через изоляцию электроустановки в нормальном режиме работы.

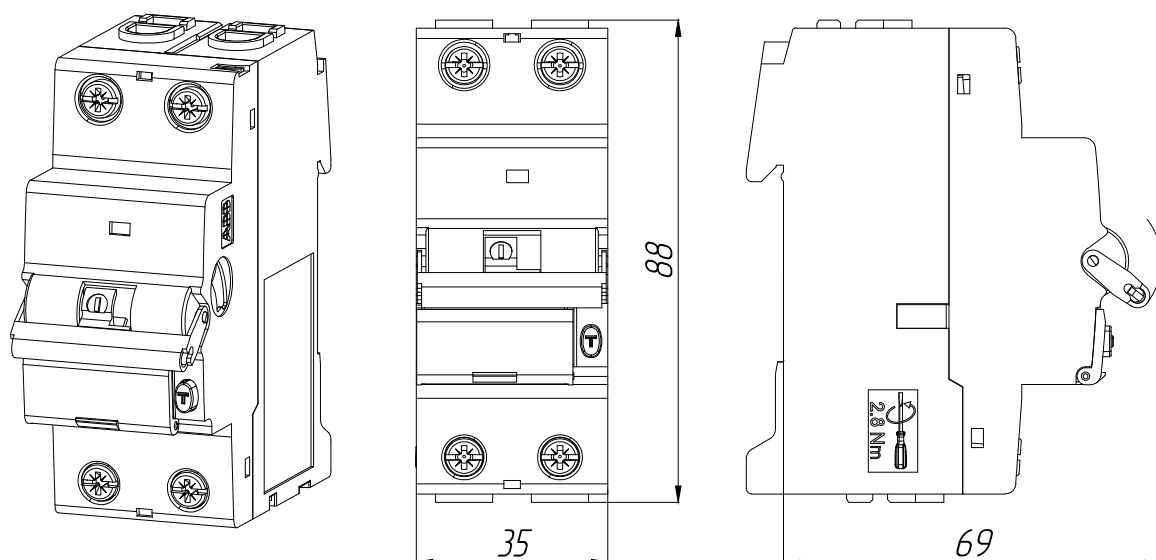
$$I_{n.FD2} \geq I_{n.QF2}. \quad (2.12)$$

В табл. 2.2 и на рис. 2.2 приведён пример выбора АВДТ. В приложении Г представлен алгоритм выбора устройств дифференциальной защиты по техническому каталогу модульного оборудования [1].

Таблица 2.2

### Пример выбора АВДТ *FD1*

№ крит.	Исходные данные		Усл.	Предварительный вариант аппарата <i>DS 201 L C25 A30</i>	
1	Род дифференциального тока	<i>АС и пульс DC</i>	=	Тип по рабочей хар-ке при дифф. токах с постоянной составляющей	A
2	Число коммутируемых проводников	2	=	<i>Число полюсов</i>	$1P+N$
3	Ном. фазное напр. сети $U_{\text{HH.ном}} / \sqrt{3}$ , В	230	≤	<i>Номинальное рабочее напряжение, <math>U_{e.FD1}</math>, В</i>	230–240
4	Частота сети, Гц	50	=	Номинальная частота	50–60
5	Ток трёхфазного КЗ в т. 1 $I_{K31}^{(3)}$ , кА	1,91	≤	<i>Ном. наибольшая отключающая способность, <math>I_{cs.FD1}</math> кА</i>	4,5
6	Макс. допустимое значение дифф. тока, мА	30	≥	<i>Ном. отключающий дифференциальный ток, <math>I_{\Delta.n.FD1}</math>, мА</i>	30
7	Расчётный ток нагрузки $I_{B6}$ , А	15,8	≤	<i>Номинальный ток <math>I_{n.FD1}</math>, А</i>	25
8	Длительно допустимый ток кабеля КБ6 $I_{Z6}$ , А	27	≥		
9	Ток однофазного КЗ в т. 4 $I_{K34}^{(1)}$ , кА	0,38	≥	Макс. знач. диап. токов мгновенного расц., $\max(I_{i.FD1})$ , кА	<i>Тип хар-ки мгно. расц. C</i> $\max\{(5-10) \cdot I_n\} = 0,25$
Вывод: модульный АВДТ <i>DS 201 L C25 A30</i> удовлетворяет всем критериям.					



**Рис. 2.2. Общий вид и габаритные размеры АДТ  
DS 201 L C25 A30 (FD1–FD3)**

## **2.4 Автоматический выключатель для защиты электродвигателя *QF1***

Увеличение тока в обмотке электродвигателя выше номинального значения приводит к повышению температуры электродвигателя больше допустимых пределов. Наиболее чувствительным к температуре элементом электродвигателя является изоляция его обмотки. При небольших перегрузках уменьшается срок службы обмотки электродвигателя, а при значительной перегрузке может произойти необратимое повреждение изоляции обмотки и её возгорание. Как правило, электродвигатель не имеет встроенной температурной защиты, что вызывает необходимость применения специализированных аппаратов защиты от сверхтоков. При этом использование для этих целей *модульных автоматических выключателей* не всегда возможно. Это связано с тем, что стандартизированный дискретный ряд номинальных токов асинхронных электродвигателей намного шире, чем ряд номинальных токов *модульных автоматических выключателей*. Уставка тока срабатывания теплового расцепителя в модульном автоматическом выключателе жёстко привязана к его номинальному току через *тип характеристики мгновенного расцепления* и не имеет возможности регулирования. В связи с этим при использовании *модульного автоматического выключателя* уставка тока срабатывания теплового расцепителя либо намного больше, чем номинальный ток электродвигателя, что может приводить к его перегреву, либо намного



меньше номинального тока электродвигателя, что не позволяет электродвигателю работать при номинальной мощности. Таким образом, *модульные автоматические выключатели* не могут обеспечить качественную защиту электродвигателя от перегрузки. В связи с этим применяются специальные *автоматические выключатели для защиты электродвигателей*, имеющие регулируемую уставку тока срабатывания теплового расцепителя, что позволяет полностью покрыть широкий ряд номинальных токов электродвигателей. В дополнение к этому *автоматические выключатели для защиты электродвигателей* обладают следующими особенностями:

- Имеют не стандартизованные габаритные размеры, поэтому не относятся к модульному оборудованию.

- Вместо типов характеристик мгновенного расцепления *B, C, D* для них приводится только одно значение уставки тока срабатывания расцепителя мгновенного действия  $I_i$  с заданным технологическим разбросом.

- Во избежание ложных срабатываний электромагнитного расцепителя во время возникновения ударного пускового тока *уставка тока срабатывания расцепителя мгновенного действия  $I_i$*  в среднем находится на уровне 15 крат относительно *номинального рабочего тока* автоматического выключателя.

- По сравнению с модульными автоматическими выключателями имеют повышенную *номинальную рабочую наибольшую отключающую способность  $I_{cs}$*  до 100 кА.

- Времятоковая характеристика теплового расцепителя специально адаптирована под особенности работы электродвигателя, что обеспечивается соответствием её стандартным классам расцепления 10, 10A и т. д.

- Зачастую имеют температурную компенсацию, что делает времятоковую характеристику теплового расцепителя менее чувствительной к температуре окружающей среды.

- Как правило, чувствительны к обрыву фазы.

На практике используются два варианта схемы управления и защиты электродвигателя. В первом варианте автоматический выключатель *QF1* имеет как электромагнитный, так и тепловой расцепители<sup>27</sup>. Во втором варианте у *QF1* нет теплового расцепителя, а имеется только электромагнитный расцепитель, при этом функция теплового расцепителя переносится на другой аппарат — тепловое реле *KK1*, которое выбирается отдельно (см. раздел 2.6).

---

<sup>27</sup> В технической литературе также встречается термин «термомагнитный расцепитель» для обозначения комбинации теплового и электромагнитного расцепителя.

### 2.4.1 Критерии выбора

В рамках проекта необходимо, чтобы автоматический выключатель для защиты электродвигателя соответствовал ряду критериев, согласно которым он должен обеспечивать:

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

$$U_{e.QF1} \geq U_{\text{НН.ном}}. \quad (2.13)$$

4. Защиту кабеля КБ2 и электродвигателя при помощи мгновенного расцепления в случае возникновения коротких замыканий в точках системы, расположенных ниже  $QF1$  на однолинейной схеме электроснабжения. Для этого необходимо, чтобы *уставка тока срабатывания расцепителя мгновенного действия*  $I_i$  была не больше, чем ток однофазного короткого замыкания в точке 2

$$I_{i.QF1} \leq I_{K32}^{(1)}. \quad (2.14)$$

5. Возможность пуска электродвигателя. Для этого необходимо, чтобы *уставка тока срабатывания расцепителя мгновенного действия*  $I_i$  превышала пусковой ток электродвигателя  $I_{д.п}$

$$I_{i.QF1} > I_{д.п}. \quad (2.15)$$

6. Надёжное отключение 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 КБ2 к  $QF1$ ), так как в этом случае ожидаемый 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*  $I_{cs}$  удовлетворяла условию

$$I_{cs.QF1} \geq I_{K31}^{(3)}. \quad (2.16)$$

7.\* Длительное пропускание номинального тока электродвигателя, для чего необходимо, чтобы *номинальный рабочий ток*  $I_e$  автоматического выключателя был не меньше номинального тока электродвигателя  $I_{д.ном}$

$$I_{e.QF1} \geq I_{д.ном}. \quad (2.17)$$

8.\*\* Защиту электродвигателя от перегрузок, для чего необходимо:

8.1. Подобрать такой автоматический выключатель  $QF1$ , чтобы номинальный ток электродвигателя  $I_{д.ном}$  попадал внутрь интервала регулирования уставки тока срабатывания теплового расцепителя  $QF1$

$$I_{r.min} \leq I_{д.ном} \leq I_{r.max}, \quad (2.18)$$

где  $I_{r.min}$ ,  $I_{r.max}$  — границы интервала регулирования уставки тока срабатывания теплового расцепителя, А.

8.2. Из диапазона  $I_{r.min} - I_{r.max}$  нужно выбрать конкретное значение уставки тока срабатывания теплового расцепителя  $I_r$ , которое должно быть расположено как можно ближе к номинальному току электродвигателя  $I_{д.ном}$ .

9.\*\* Защиту отходящего кабеля КБ2 в случае превышения потребляемым электродвигателем током длительно допустимого тока кабеля  $I_{Z2}$ . Для чего необходимо, чтобы выбранная ранее уставка тока срабатывания теплового расцепителя  $I_r$  была не больше, чем длительно допустимый ток защищаемого кабеля

$$I_{r.QF1} \leq I_{Z2}. \quad (2.19)$$

В табл. 2.3 и на рис. 2.3 приведён пример выбора автоматического выключателя для защиты электродвигателя  $QF1$  только с электромагнитным расцепителем по техническому каталогу [2].

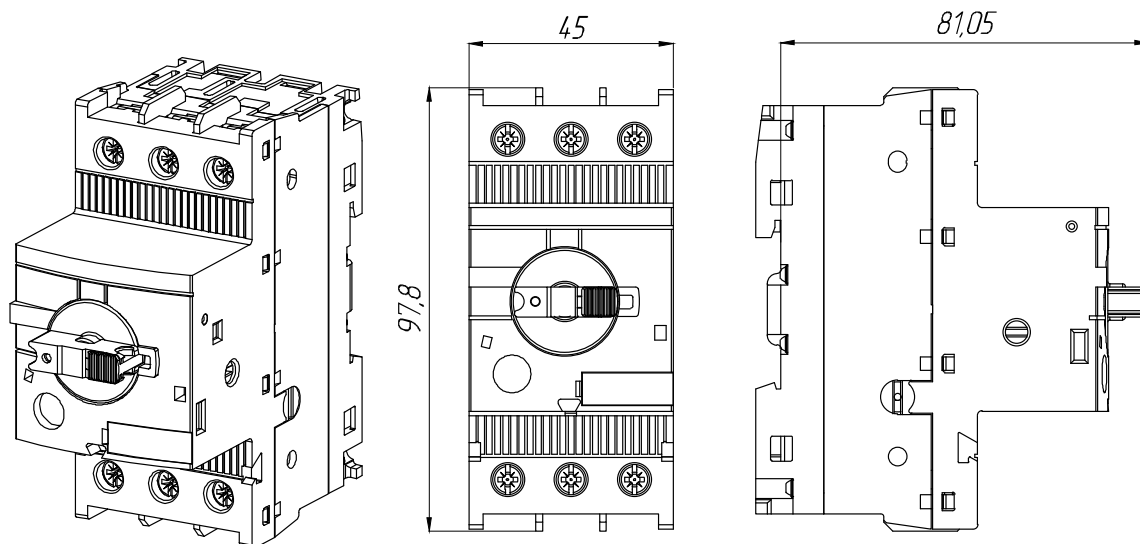
---

\* Для автоматических выключателей только с электромагнитным расцепителем.

\*\* Для автоматических выключателей с комбинированным тепловым и электромагнитным расцепителем.

**Пример выбора автоматического выключателя для защиты  
электродвигателя  $QF1$**

№ крит.	Исходные данные		Усл.	Предварительный вариант аппарата <i>MO132-16</i>	
1	Частота сети, Гц	50	=	Ном. частота, Гц	50
2	Число коммутируемых проводников	3	=	Кол-во полюсов	3
3	Номинальное напряжение сети $U_{HH.ном}$ , В	400	$\leq$	Ном. рабочее напряжение, $U_{e.QF1}$ , В	690
4	Ток трёхфазного КЗ в т. 1 $I_{K31}^{(3)}$ , кА	1,91	$\leq$	Ном. рабочая наибольшая отключающая способность $I_{cs.QF1}$ , кА (при напр. $U_{HH.ном}$ )	50
5	Пусковой ток электродвигателя, $I_{д.п.}$ , кА	0,1	$<$	Уставка тока срабатывания расцепителя мгновенного действия, $I_{i.QF1}$ , кА	0,2
6	Ток однофазного КЗ в т. 2 $I_{K32}^{(1)}$ , кА	0,53			
7	Ном. ток электродв., $I_{д.ном}$ , А	14,8		Ном. рабочий ток $I_{e.QF1}$ , А	16
Вывод: автоматический выключатель для защиты электродвигателя <i>MO132-16</i> полностью удовлетворяет всем критериям.					



**Рис. 2.3. Общий вид и габаритные размеры автоматического выключателя для защиты электродвигателя *MO132-16***

## 2.5 Электромагнитный контактор КМ1

Контактор относится к аппаратам управления и не имеет защитных функций. Если основное назначение автоматического выключателя — это редкие автоматические отключения цепи в аварийных режимах, то основной задачей контактора является частая коммутация цепи в нормальных условиях, а также редкая коммутация при перегрузках. В связи с этим контактная система контактора имеет большую по сравнению с автоматическим выключателем *коммутационную и механическую износостойкость*. Кроме того, электромагнитный контактор управляется не вручную, а при помощи встроенного в него электромагнита. Другими словами, если для включения автоматического выключателя, как правило, необходимо вручную взвести его рукоятку управления, то для включения электромагнитного контактора необходимо подать напряжение на катушку его электромагнита. Таким образом, контактор имеет встроенную возможность дистанционного управления, что может быть достигнуто в автоматических выключателях только при помощи дополнительных аксессуаров. Важно отметить, что несмотря на то, что контактор рассчитан на коммутацию токов перегрузки, он не имеет расцепителей и поэтому сам по себе не реагирует на возникновение сверхтока. В случае необходимости обеспечения защитных функций последовательно с контактором устанавливается тепловое реле, которое включается своим размыкающим контактом в цепь питания катушки электромагнита контактора и при возникновении перегрузки отключает её, что приводит к отключению контактора.

У контактора в общем случае выделяют три электрических цепи:

1) *главная цепь* — это силовая цепь, по которой протекает ток нагрузки, и в которой находятся главные контакты, способные коммутировать этот ток,

2) *цепь управления*, необходимая для управления замыканием и размыканием контактов *главной цепи* контактора. В неё входит катушка электромагнита.

3) *вспомогательная цепь* — это слаботочная цепь, в которую входят вспомогательные замыкающие и размыкающие контакты, включаемые в цепи управления и сигнализации<sup>28</sup>.

### 2.5.1 Критерии выбора

В рамках проекта необходимо, чтобы контактор КМ1 соответствовал ряду критериев, согласно которым он должен обеспечивать:

---

<sup>28</sup> В некоторых моделях контакторов может отсутствовать встроенная вспомогательная цепь.

## Г л а в н а я   ц е п ь

1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.

2. Коммутацию необходимого числа проводников, для чего должен иметь три главных контакта. При этом в рамках проекта возможно два варианта исполнения:

2.1. Контактёр с тремя главными *замыкающими* контактами и одним встроенным вспомогательным *замыкающим* контактом. Такой контактёр зачастую выглядит как четырёхполюсный, однако является трёхполюсным, так как количество полюсов определяется по числу *главных контактов*.

2.2. Контактёр с тремя главными *замыкающими* контактами без встроенного вспомогательного контакта. В этом случае к контактору необходимо подобрать дополнительный аксессуар — вспомогательный *замыкающий* контакт, монтируемый на контактёр (рис. 2.5).

3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением, для чего максимальное значение его *номинального рабочего напряжения главной цепи*  $U_e$  должно удовлетворять условию

$$U_{e.KM1} \geq U_{HH.ном}. \quad (2.20)$$

4. Заданную производителем *коммутационную износостойкость*. Для выполнения этого требования необходимо чтобы:

4.1. Коммутируемый контактором ток во время отключения электродвигателя  $I_{д.ном}$  был не больше, чем *номинальный рабочий ток контактора*  $I_e$  для категории применения АСЗ

$$I_{e.KM1}^{AC3} \geq I_{д.ном}. \quad (2.21)$$

4.2. Действующее значение периодической составляющей включаемого контактором тока при пуске электродвигателя  $I_{д.п}$  не превышало шестикратный *номинальный рабочий ток контактора*  $I_e$  для категории применения АСЗ<sup>29</sup>

$$6 \cdot I_{e.KM1}^{AC3} \geq I_{д.п}. \quad (2.22)$$

---

<sup>29</sup> В соответствии с режимом испытаний контактора на коммутационную износостойкость по ГОСТ Р 50030.4.1–2012 (МЭК 60947-4-1: 2009) Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4 Контактёры и пускатели. Раздел 1. Электромеханические контакторы и пускатели. — табл. В1. — С. 64.

## Ц е п ь   у п р а в л е н и я

5. Работу в сети с заданным по схеме электроснабжения родом тока и частотой.

6. Работу с заданным по схеме электроснабжения напряжением цепи *управления*  $U_{ц.у.}$ , для чего номинальное напряжение катушки управления контактора  $U_c$  должно соответствовать необходимому значению  $U_{ц.у.}$ .

## В с п о м о г а т е л ь н а я   ц е п ь

7. Наличие необходимого в соответствии со схемой электроснабжения количества вспомогательных *замыкающих* контактов.

В табл. 2.4 и на рис. 2.5 приведён пример выбора электромагнитного контактора *КМ1* по техническому каталогу [2].

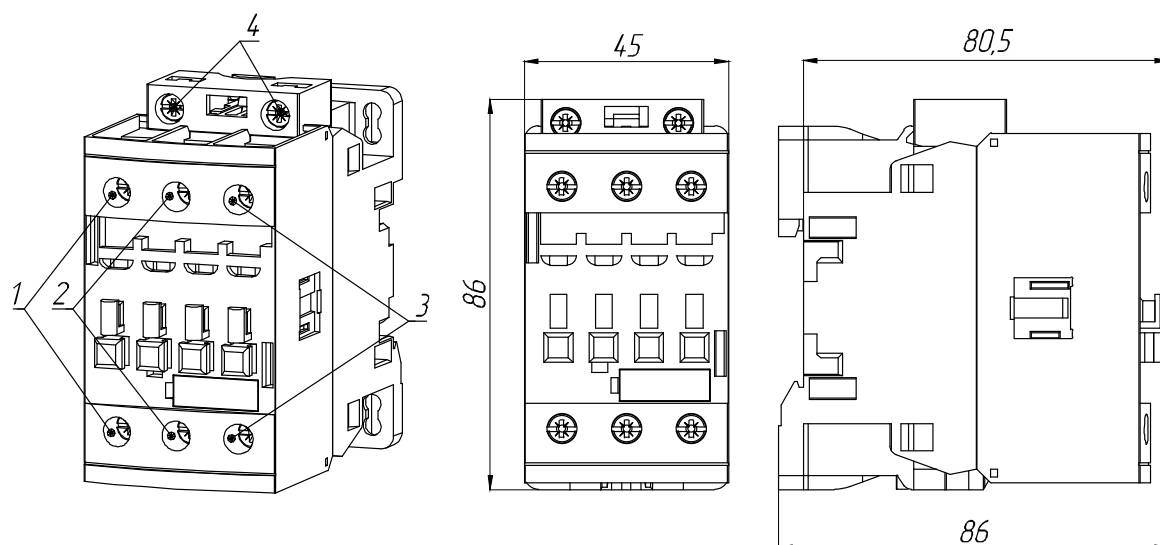
Таблица 2.4

### Пример выбора электромагнитного контактора *КМ1*

№ крит.	Исходные данные	Усл.	Предварительный вариант аппарата AF26-30-00-13 + CA4-10
Главная цепь			
1	Частота сети, Гц	50 =	Ном. частота, Гц 50
2	Число коммутируемых проводников	3 =	Кол-во главных замыкающих контактов (полюсов) 3
3	Номинальное напряжение сети $U_{НН.ном}$ , В	400 ≤	Максимальное значение ном. рабочего напряжения, $U_{е.КМ1}$ , В 690
4.1	Номинальный ток электродвигателя $I_{д.ном}$ , А	14,8 ≤	Номинальный рабочий ток для категории прим. АС3 $I_{е.КМ1}^{АС3}$ , А (при напр. $U_{НН.ном}$ ) 26
4.2	Пусковой ток электродвигателя $I_{д.п}$ , А	111 ≤	Шестикратный номинальный рабочий ток для категории. прим. АС3 $6 \cdot I_{е.КМ1}^{АС3}$ , А 156
Цепь управления			
5	Частота напр. питания цепи управления, Гц	50 =	Ном. частота питания цепи управления, Гц 50
6	Напряжение цепи управления $U_{ц.у}$ , В	230 ∈	Ном. напряжение катушки управления $U_c$ , В 100...250

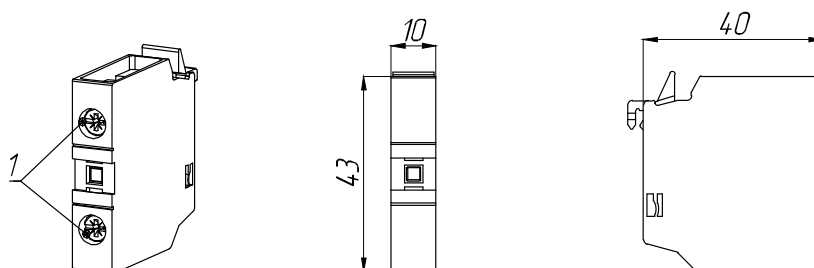
Вспомогательная цепь					
7	Необходимое кол-во вспомогательных замыкающих контактов в соответствии со схемой	1	≤	Кол-во встроенных в контактор вспомогат. замыкающих контактов	0
				Кол-во замыкающих контактов у вспомогательных контактных блоков*	+ 1 (CA4-10)
Вывод: электромагнитный контактор AF26-30-00-13 с дополнительным контактным блоком CA4-10 полностью удовлетворяет всем необходимым критериям					

\*Вспомогательный контактный блок — это дополнительный аксессуар к контактору, который выбирается отдельно и только при условии отсутствия необходимого количества встроенных в контактор вспомогательных контактов.



**Рис. 2.4. Общий вид и габаритные размеры электромагнитного контактора AF26-30-00-13:**

1, 2, 3 – выводы главных контактов, принадлежащие контактным элементам фаз L1, L2, L3 соответственно; 4 – выводы катушки управления (маркируются на корпусе A1, A2)



**Рис. 2.5. Общий вид и габаритные размеры вспомогательного контактного блока CA4-10:**

1 – выводы вспомогательного замыкающего контакта



## 2.6 Тепловое реле перегрузки КК1

В некоторых случаях функция защиты электродвигателя от перегрузки осуществляется не встроенным в автоматический выключатель тепловым расцепителем, а при помощи отдельного аппарата — *теплового реле*. Как упоминалось выше, в этом случае *автоматический выключатель для защиты электродвигателя* выполняет только функцию защиты от коротких замыканий, то есть должен иметь только электромагнитный расцепитель.

Основным элементом как, *теплового расцепителя* автоматического выключателя, так и *теплового реле*, является биметаллическая пластина, изгибающаяся при нагревании. Однако в отличие от *теплового расцепителя*, интегрированного в автоматический выключатель, *тепловое реле* представляет собой отдельное устройство. Важной особенностью *теплового реле* является то, что оно включается последовательно в цепь питания обмоток электродвигателя, однако не предназначено для коммутации этой цепи. Это связано с тем, что тепловое реле обладает только вспомогательными контактами, в то время как *главные контакты* отсутствуют. Вспомогательный размыкающий контакт теплового реле включается последовательно в цепь управления контактора. При срабатывании теплового реле его размыкающий контакт обесточивает *катушку управления* контактора. В результате этого отключение электродвигателя осуществляется именно *главными контактами* контактора. Тепловое реле имеет регулируемую уставку тока расцепления, что позволяет покрыть широкий диапазон номинальных токов электродвигателей.

В *тепловом реле перегрузки* выделяют две электрические цепи:

- 1) *главная цепь*, обтекаемая током нагрузки, в которой находятся нагревательные элементы биметаллических пластин, чувствительных к сверхтоку;
- 2) *вспомогательная цепь*, в которую входят *вспомогательные* размыкающие и замыкающие контакты, включаемые в цепи управления и сигнализации.

### 2.6.1 Критерии выбора

В рамках проекта необходимо, чтобы тепловое реле КК1 соответствовало ряду критериев, согласно которым оно должно обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.
2. Работу в сети с заданным номинальным напряжением. Для этого *номинальное рабочее напряжение главной цепи*  $U_e$  должно быть не меньше, чем номинальное напряжение сети

$$U_{e.KK1} \geq U_{HH.ном} . \quad (2.23)$$

3. Возможность защиты электродвигателя с номинальным током  $I_{д.ном}$ , для чего этот ток должен входить в диапазон регулирования уставок тока срабатывания теплового реле

$$I_{r.min} \leq I_{д.ном} \leq I_{r.max} . \quad (2.24)$$

При этом из диапазона настроек  $I_{r.min} - I_{r.max}$  необходимо выбрать конкретное значение тока уставки реле  $I_{r.KK1}$  как можно ближе, но не превышающее номинального тока электродвигателя  $I_{д.ном}$ .

4. Защиту отходящего кабеля КБ2 в случае превышения потребляемым электродвигателем током *длительно допустимого тока* кабеля  $I_{Z2}$ . Для этого необходимо, чтобы выбранная ранее уставка тока срабатывания теплового реле  $I_{r.KK1}$  была не больше, чем длительно допустимый ток кабеля

$$I_{r.KK1} \leq I_{Z2} . \quad (2.25)$$

5. Наличие минимум одного вспомогательного *размыкающего* контакта для включения его в цепь управления электродвигателя.

6. Возможность монтажа на выбранную ранее модель контактора КМ1, для чего должно иметь совместимый с ним типоразмер.

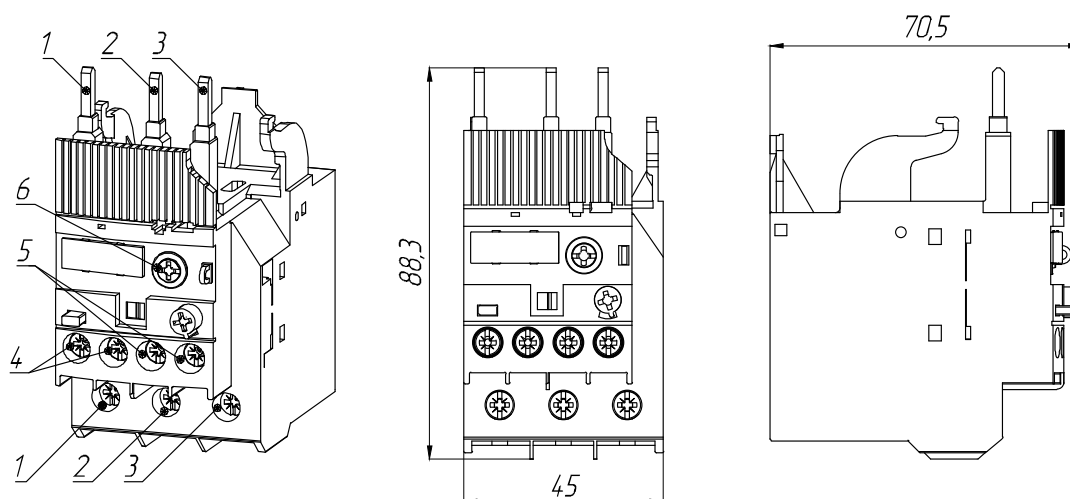
7. Пуск электродвигателя в заданных условиях (время пуска  $t_n$  и пусковой ток  $I_{д.п}$ ), для чего в рамках проекта должно иметь класс расцепления 10.

В табл. 2.5 и на рис. 2.6 приведён пример выбора теплового реле по техническому каталогу [2].

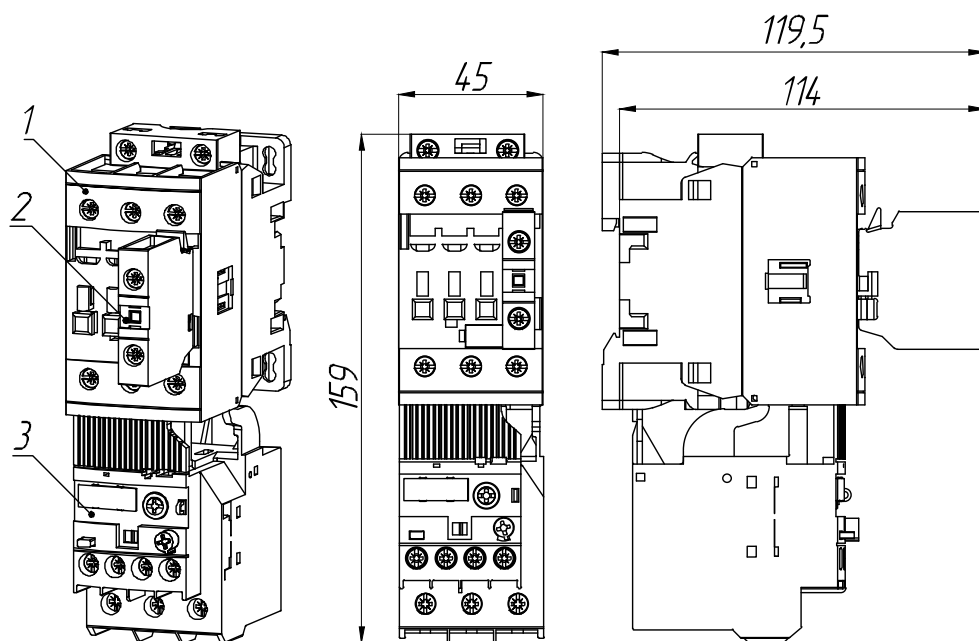
Многие производители выпускают тепловые реле, размеры которых специально адаптированы для монтажа под контактор таким образом, что тепловое реле и контактор образуют единую жёсткую конструкцию, как это показано на рис. 2.7.

Пример выбора теплового реле перегрузки **КК1**

№ крит.	Исходные данные	Усл.	Предварительный вариант аппарата TF42-16		
Главная цепь					
1	Частота сети, Гц	50	=	Ном. частота, Гц	50
2	Ном. напряжение сети $U_{\text{НН.ном}}$ , В	400	$\leq$	Ном. рабочее напряжение, $U_{\text{е.КК1}}$ , В	690
3	Номинальный ток электродв. $I_{\text{д.ном}}$ , А	14,8	$\approx$	Уставка тока срабатывания $I_{\text{р.КК1}}$ , А (Диапазон уставок $I_{\text{р.мин}}$ — $I_{\text{р.мах}}$ , А)	15  (13...16)
4	Длительно доп. ток $I_{\text{З2}}$ , А	27	$\geq$		
Вспомогательная цепь					
5	Кол-во вспомог. размыкающих контактов по схеме	1	$\leq$	Кол-во встроенных размыкающих контактов	1
Конструктивное исполнение					
6	Тип контактора	AF26	$\Leftrightarrow$	Тип теплового реле	TF42
Вывод: тепловое реле класса расцепления 10 TF42-16 удовлетворяет всем необходимым критериям Настройка: $I_{\text{р.КК1}} = 15 \text{ А}$ .					

Рис. 2.6. Общий вид и габаритные размеры теплового реле **TF42-16**:

1, 2, 3 – выводы главной цепи, принадлежащие фазам  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  соответственно;  
 4 – выводы вспомогательного размыкающего контакта (маркируются на корпусе как  $NC$  с клеммами 95, 96); 5 – выводы вспомогательного замыкающего контакта (маркируются на корпусе как  $NO$  с клеммами 97, 98); 6 – поворотный регулятор тока уставки



**Рис. 2.7. Сборка контактора AF26-30-00-13 с вспомогательным контактным блоком CA4-10 и с тепловым реле TF42-16:**

1 – контактор AF26-30-00-13; 2 – контактный блок CA4-10;  
3 – тепловое реле TF42-16

## 2.7 Плавкий предохранитель FU1

Согласно рассматриваемой схеме электроснабжения защита цепи управления от сверхтоков осуществляется при помощи плавкого предохранителя FU1. Основным элементом плавкого предохранителя является плавкая вставка, внутри которой находится плавкий элемент, расплавляющийся при протекании сверхтока. После срабатывания предохранителя плавкая вставка подлежит замене. Обычно плавкая вставка (рис. 2.8 а) не имеет зажимов для присоединения внешних проводников. В связи с этим дополнительно к плавкой вставке необходимо выбрать держатель плавкого предохранителя, который и обеспечит как возможность присоединения плавкой вставки (рис. 2.8 а) в цепь управления, так и монтаж предохранителя на DIN-рейку.

Плавкий предохранитель должен соответствовать ряду критериев, согласно которым необходимо, чтобы он обеспечивал:

### П л а в к а я   в с т а в к а

1. Работу в сети переменного тока АС.
2. Работу в цепи управления с заданным напряжением  $U_{ц.у.}$ , которое определяется по схеме электроснабжения

$$U_{e.FU1} \geq U_{ц.у}. \quad (2.26)$$

3. Гарантированное отключение тока однофазного короткого замыкания в точке  $I$  системы, для чего его *номинальная отключающая способность*  $I_{сн}$  должна удовлетворять условию

$$I_{сн.FU1} \geq I_{K31}^{(1)}. \quad (2.27)$$

4. Длительное пропускание тока, потребляемого катушкой управления контактора  $KM1$  при удержании  $I_{к.у}$ , а также защиту цепи управления контактора от перегрузок<sup>30</sup>. Для этого необходимо, чтобы *номинальный ток плавкой вставки*  $I_n$ , соответствовал условию

$$I_{к.у} \leq I_{n.FU1} \leq I_{к.с}, \quad (2.28)$$

$$I_{к.у} = \frac{S_{к.у}}{U_{ц.у}}, \quad (2.29)$$

$$I_{к.у} = \frac{S_{к.с}}{U_{ц.у}}, \quad (2.30)$$

где  $S_{к.у}$  — полная мощность катушки управления при удержании<sup>31</sup>, В·А;  
 $S_{к.с}$  — полная мощность катушки управления при срабатывании, В·А;  
 $I_{к.с}$  — ток, потребляемой катушкой управления при срабатывании, А.

Д е р ж а т е л ь   п р е д о х р а н и т е л я :

5. Совместимость с плавкой вставкой выбранного типоразмера.

В табл. 2.6 и на рис. 2.8 приведён пример выбора плавкой вставки и держателя плавкого предохранителя по техническому каталогу [1].

---

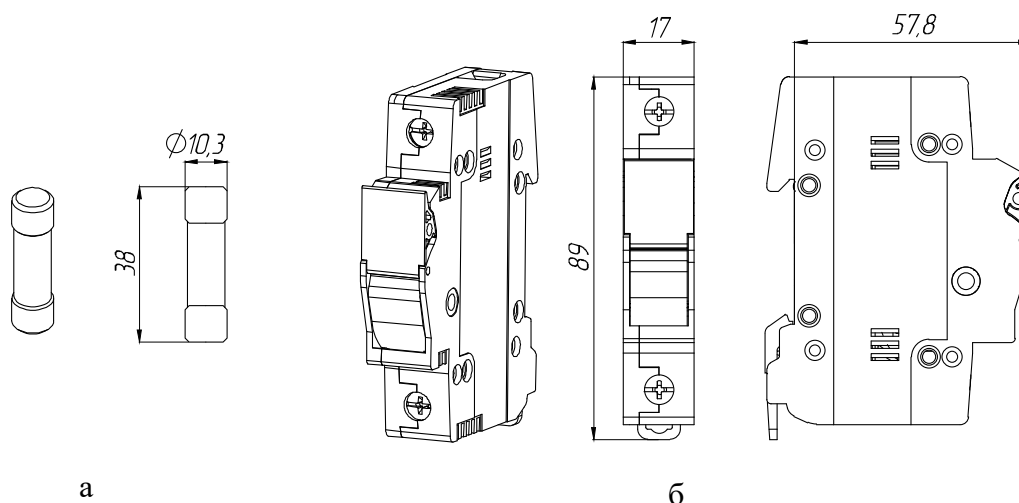
<sup>30</sup> В случае использования электромагнита переменного тока в контакторе, токовая перегрузка в цепи управления может возникнуть, если после подачи напряжения на катушку электромагнита его якорь не может полностью притянуться к полюсу, что может быть вызвано как недостаточным напряжением питания, так и механическим заклиниванием якоря.

<sup>31</sup> В технической литературе также используется термин энергопотребление катушки [2]. Для контакторов серии *AF ABB* определяется по [2, с. 5/42–5/43].

Таблица 2.6

**Пример выбора плавкого предохранителя FU1**

№ крит.	Исходные данные		Усл.	Предварительный вариант аппарата пл. вст. <i>DF2CA001</i> + держ. <i>E91/32</i>	
<i>Плавкая вставка</i>					
1	Род тока сети	<i>АС</i>	=	Род тока	<i>АС</i>
2	Напряжение цепи управления <i>U</i> <sub>ц.у.</sub> , В	230	≤	<i>Ном. напр.</i> плавкой вставки <i>U</i> <sub>н.FU1</sub> , В	500
3	Ток однофазного КЗ в т. 1, <i>I</i> <sub>КЗ1</sub> <sup>(1)</sup> кА	0,99	≤	<i>Номинальная отключающая способность I</i> <sub>сн.FU1</sub> , кА	80
4	Ток, потребляемый катушкой управл. при удерж. <i>I</i> <sub>к.у.</sub> , мА	9,6	≤	<i>Ном. ток плавкой вставки I</i> <sub>н.FU1</sub> , мА	160
5	Ток, потребляемый катушкой упр. при сраб. <i>I</i> <sub>к.с.</sub> , мА	217,4	>		
<i>Держатель плавкого предохранителя</i>					
6	Размер плавкой вставки <i>DF2CA001</i>	Цилиндр. 10×38	⇔	Держатель с функцией разъединителя	<i>E91/32</i>
Вывод: плавкая вставка типа <i>aM Schneider Electric DF2CA001</i> 10×38 мм и держатель предохранителя с функцией разъединителя <i>ABB E91/32</i> полностью удовлетворяют всем необходимым критериям.					

**Рис. 2.8. Плавкий предохранитель:**

а – общий вид и габаритные размеры плавкой вставки *DF2CA001*; б – общий вид и габаритные размеры держателя плавкого предохранителя с функцией разъединителя *E91/32*

## 2.8 Кнопки в цепи управления электродвигателем SB1, SB2

Для управления электродвигателем в схеме предусмотрены две кнопки — пуск SB1 и стоп SB2. Далее рассматривается выбор кнопки из так называемой модульной серии. Кнопка в этом случае собирается из нескольких элементов — корпуса кнопки с клавишей и контактного блока, который содержит непосредственно электрический контакт. Кнопка должна соответствовать ряду критериев, согласно которым она должна обеспечивать:

### К о н т а к т н ы й   б л о к

1. Работу в сети переменного тока АС.

2. Возможность включения в цепь управления контактора с заданным напряжением  $U_{ц.у.}$ . Для этого *номинальное напряжение изоляции*  $U_i$  должно соответствовать условию

$$U_{i.SB} \geq U_{ц.у.} \quad (2.31)$$

3. Длительное пропускание потребляемого катушкой контактора тока  $I_{ц.у.}$ . Для этого *номинальный рабочий ток*  $I_e$ , соответствующий напряжению  $U_{ц.у.}$ , должен удовлетворять условию

$$I_{e.SB} \geq I_{ц.у.} \quad (2.32)$$

4. Наличие необходимого по схеме количества размыкающих и замыкающих контактов. Кнопка пуск должна иметь минимум один замыкающий контакт, кнопка стоп — минимум один размыкающий контакт.

### К о р п у с   к н о п к и

5. Возврат в исходное положение после снятия воздействия. Для чего она должна иметь исполнение без фиксации.

6. Соответствие нормам по визуальному кодированию информации, в соответствии с которыми зелёный цвет означает безопасность, а красный — опасность. Поэтому в рамках проекта рекомендуется выбирать кнопку пуск с клавишей зелёного цвета, а кнопку стоп с клавишей красного цвета.

В табл. 2.7 и на рис. 2.9, 2.10 приведён пример выбора кнопки пуск по техническому каталогу [3].

## Пример выбора кнопки SB1

№ крит.	Исходные данные		Усл.	Предварительный вариант аппарата <i>MP1-10G + MCB-10</i>	
<i>Контактный блок</i>					
1	Род тока цепи управления	<i>АС</i>	=	Род тока	<i>АС</i>
2	Напряжение цепи управления $U_{ц.у}$ , В	230	≤	<i>Ном. напр. изоляции</i> $U_{i.SB1}$ , В	690
3	Ток, потребляемый катушкой контактора при удержании $I_{к.у}$ , мА	9,6	≤	<i>Номинальный рабочий ток <math>I_e</math> (при напряжении <math>U_{ц.у}</math>), А</i>	4
4	Необходимое кол-во замыкающих контактов по схеме	1	≤	Кол-во замыкающих контактов	1 ( <i>MCB-10</i> )
<i>Корпус кнопки</i>					
5	Необходимость фиксации	Нет	=	Исполнение	Без фикс.
6	Требуемый цвет клавиши кнопки пуск	Зел.	=	Цвет клавиши	Зел.
Вывод: кнопка <i>MP1-10G</i> с контактным блоком <i>MCB-10</i> удовлетворяет всем критериям					

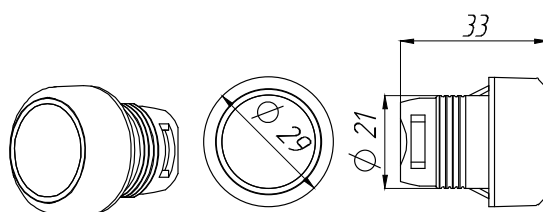


Рис. 2.9. Общий вид и габаритные размеры корпуса кнопки пуск SB1 MP1-10G

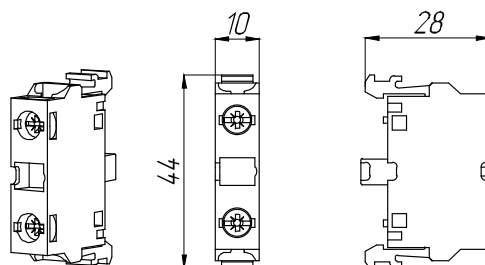


Рис. 2.10. Общий вид и габаритные размеры контактного блока MCB-10 для кнопки пуск SB1



## 2.9 Выключатель-разъединитель QС1

*Выключатель-разъединитель*<sup>32</sup>, также называемый как *выключатель нагрузки*, расположен в общей линии КБ1 и, в соответствии со своим названием, имеет две основные функции:

1. Функция *выключателя* — ручное включение и отключение номинальных токов, а также токов перегрузки. *Выключатель-разъединитель* не предназначен для коммутации токов короткого замыкания.

2. Функция *разъединителя* — гарантированное снятие напряжения со всех аппаратов, входящих в состав НКУ, в целях обеспечения безопасности при проведении работ на электроустановке.

Для обеспечения функции *разъединителя* аппарат в разомкнутом положении должен обеспечивать изолирующий промежуток между своими главными контактами, выдерживающий заданные импульсные перенапряжения, а также иметь чёткую индикацию, однозначно отражающую положение главных контактов<sup>33</sup>.

### 2.9.1 Критерии выбора

В рамках проекта необходимо, чтобы *выключатель-разъединитель* соответствовал ряду критериев, согласно которым он должен обеспечивать:

1. Работу в сети переменного тока АС.

2. Коммутацию необходимого в соответствии со схемой электроснабжения числа проводников.

3. Электрическую прочность между своими контактами в разомкнутом положении, достаточную для безопасного проведения работ на обесточенной электроустановке. Для этого его *номинальное рабочее напряжение изоляции*  $U_i$  должно удовлетворять условию

$$U_{i.QS1} \geq U_{НН.ном}. \quad (2.33)$$

4. Возможность коммутации высоко индуктивной нагрузки, что связано с тем, что через QС1 проходит ток асинхронного электродвигателя, являющегося нагрузкой с низким *коэффициентом мощности*. Для этого необходимо, чтобы *номинальный рабочий ток*  $I_e$  для

---

<sup>32</sup> Выключатель-разъединитель в технической литературе также называется выключатель нагрузки (напр. в каталогах АВВ) или рубильник (напр. в ПУЭ).

<sup>33</sup> В соответствии с ГОСТ 60947–4–1 пп. 7.1.7.1 индикация положения главных контактов может быть обеспечена одним из следующих способов: положением органа управления, специальным механическим индикатором, возможностью визуального осмотра главных подвижных контактов.

категории применения АС–23А, соответствующий напряжению  $U_{\text{НН.ном}}$ , был не меньше, чем расчётный ток в кабеле КБ1  $I_{B1}$

$$I_{e.QS1}^{AC23} \geq I_{B1}. \quad (2.34)$$

5. Кратковременное пропускание тока короткого замыкания. Для количественной оценки этой характеристики необходимо рассчитать время, в течение которого выключатель-разъединитель QS1 способен выдерживать протекание через себя максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания. Расчёт проводится с использованием интеграла Джоуля и в рамках проекта сводится к следующему соотношению:

$$\begin{aligned} t_{\text{д.QS1}} \cdot \left( I_{K31}^{(3)} \right)^2 &= \left( I_{cw.QS1} \right)^2 \cdot t_{cw.QS1}, \\ \Downarrow \\ t_{\text{д.QS1}} &= \left( \frac{I_{cw.QS1}}{I_{K31}^{(3)}} \right)^2 \cdot t_{cw.QS1}, \end{aligned} \quad (2.35)$$

где  $t_{\text{д.QS1}}$  — допустимое время, в течение которого QS1 может пропускать через себя максимально возможный в месте его установки ток короткого замыкания, с;  $I_{cw.QS1}$  — *номинальный кратковременно выдерживаемый ток*, указанный производителем в техническом каталоге, А;  $t_{cw}$  — нормируемая длительность протекания  $I_{cw.QS1}$ , указанная производителем в техническом каталоге (если  $t_{cw}$  не указано, то его необходимо принять равным 1 с)<sup>34</sup>, с.

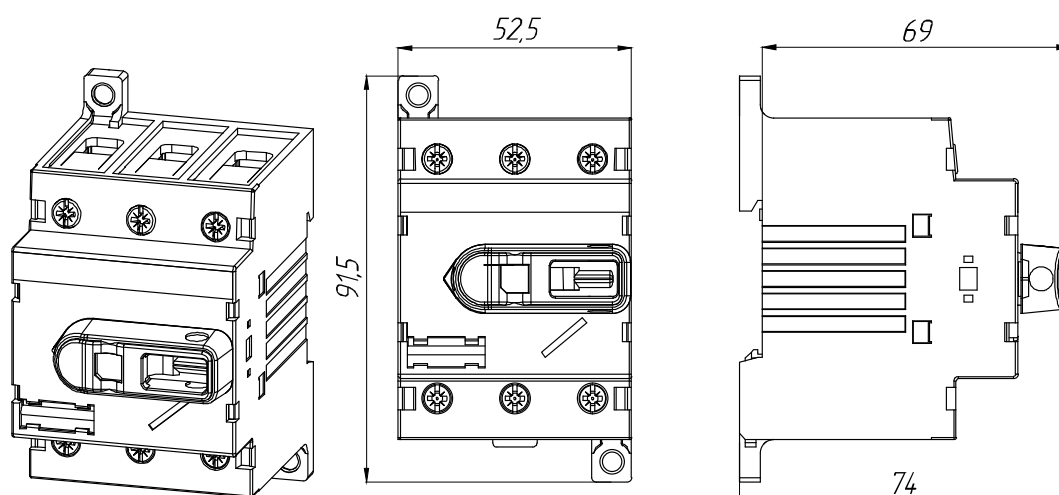
В табл. 2.8 и на рис. 2.11 приведён пример выбора выключателя нагрузки по техническому каталогу [4].

---

<sup>34</sup> ГОСТ 60947–3–2016 Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители и комбинации их с предохранителями. пп. 4.3.6.1.

### Пример выбора выключателя-разъединителя *QS1*

№ крит.	Исходные данные		Усл.	Предварительный вариант аппарата <i>OT63F3</i>	
1	Род тока сети	АС	=	Род тока	АС
2	Кол-во разрываемых проводников	3	=	Кол-во полюсов	3
3	Ном. напряжение сети $U_{HH.ном}$ , В	400	$\leq$	<i>Ном. напряжение изоляции <math>U_{i.QS1}</math>, В</i>	750
4	Расчётный ток в кабеле КБ1 $I_{B1}$ , А	33	$\leq$	<i>Ном. рабочий ток по кат. АС–23А <math>I_{e.QS1}^{AC23}</math> при напр. <math>U_{HH.ном}</math>, А</i>	45 (при 400 В)
5	Ток трёхфазного КЗ в т. 1 $I_{K31}^{(3)}$ , кА	0,99	$\Rightarrow$	Доп. время протекания тока КЗ по формуле (2.35) $t_{д.QS1}$ , с	1
	Номинальный 1-секундный кратковременно выдерживаемый ток $I_{cw.QS1}$	1 кА			
Вывод: выключатель-разъединитель <i>OT63F3</i> полностью удовлетворяет всем необходимым критериям.					



**Рис. 2.11. Общий вид и габаритные размеры выключателя нагрузки  
*OT63F3***

## 2.10 Автоматические выключатели верхнего уровня электроснабжения *QF10, QF11*

Автоматические выключатели *QF10* и *QF11* входят в состав комплектной трансформаторной подстанции (КТП) и располагаются на верхнем уровне электроснабжения. За счёт этого они имеют ряд специфических особенностей по сравнению с аппаратами, выбранными ранее в линии потребителей, основные из которых:

— Более высокие предельные значения *номинальных токов*, что связано с тем, что через них протекает суммарный ток от нескольких отходящих линий.

— Более высокие предельные значения *отключающих способностей*. Это связано с тем, что при появлении короткого замыкания на уровне КТП, возникающий ток не ограничен сопротивлениями кабелей и поэтому принимает большие значения.

— Как правило, снабжаются *расцепителями* с регулируемыми уставками срабатывания для возможности тонкой настройки и обеспечения *селективности* с нижестоящими аппаратами защиты. Это связано с повышенными требованиями к надёжности подачи электроэнергии на верхнем уровне электроснабжения, так как в случае отключения автоматических выключателей *QF11* или *QF10* обесточивается большое число потребителей.

Для обеспечения этих требований используются специальные аппараты, предназначенные для распределительных сетей — *автоматические выключатели в литом корпусе* и *воздушные автоматические выключатели*. Такие аппараты предназначены исключительно для промышленного применения и снабжаются различными видами регулируемых расцепителей: термомеханическими (электрохимическими) или электронными (микропроцессорными).

В рамках проекта в качестве *QF10, QF11* рекомендуется использовать *автоматические выключатели в литом корпусе*, снабжённые *электронными расцепителями сверхтоков*. Такие расцепители имеют сложную времятоковую характеристику, которая определяется набором функций. Наиболее распространёнными функциями *электронных расцепителей* в области защиты от *сверхтоков* являются:

— Функция *L* (от англ. *Long Time*). Обеспечивает расцепление с *длительной обратозависимой выдержкой* времени. Используется для защиты от перегрузки. Другими словами, по своим функциям аналогична *тепловому расцепителю*. Как правило, подразумевает наличие регулируемой уставки тока расцепления  $I_r$  и времени расцепления  $t_r$ .

— Функция  $S$  (от англ. *Short Time*). Обеспечивает расцепление с *кратковременной* выдержкой времени. В зависимости от модели расцепителя выдержка времени может быть как независимой ( $t = k$ ), так и обратозависимой ( $t = k/I^2$ ) от протекающего тока. Функция  $S$  используется для защиты от токов перегрузки и токов короткого замыкания в случае необходимости обеспечения временной селективности с нижестоящими устройствами защиты от сверхтоков. Как правило, подразумевает наличие регулируемой уставки тока расцепления  $I_{sd}$  и времени расцепления  $t_{sd}$ .

— Функция  $I$  (от англ. *Instantaneous*). Обеспечивает *мгновенное* расцепление. Используется для защиты от токов короткого замыкания без преднамеренной выдержки времени в тех случаях, когда временная селективность не требуется, то есть по своему назначению близка к *электромагнитному расцепителю*. Как правило, подразумевает наличие регулируемой уставки тока мгновенного расцепления  $I_i$ .

Ввиду того, что расцепители *автоматических выключателей в литом корпусе* зачастую являются заменяемыми, то процесс подбора аппарата защиты подразделяется на два этапа:

1. Выбор типоразмера автоматического выключателя в соответствии с требуемым *номинальным длительным током*  $I_n$ .

2. Подбор расцепителя, совместимого с выбранным ранее типоразмером автоматического выключателя. Расцепитель должен обладать необходимым набором функций и диапазоном регулирования уставок. В рамках проекта рекомендуется использовать электронные расцепители, как минимум снабжённые функциями  $L$  и  $S$ <sup>35</sup>. Важно отметить, что номинальный ток расцепителя  $I_n$  может быть выбран меньше *номинального длительного тока*  $I_u$  автоматического выключателя.

### 2.10.1 Критерии выбора автоматического выключателя QF11

Для установки в общую линию КБ1 рекомендуется использовать *автоматический выключатель в литом корпусе* с электронным расцепителем, от которых требуется соответствие ряду критериев, согласно которым они должны обеспечивать:

#### А в т о м а т и ч е с к и й   в ы к л ю ч а т е л ь

##### 1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.

---

<sup>35</sup> В рамках проекта рекомендуется использовать следующие варианты расцепителей: 1)  $LS/I$  — функция  $L$  неотключаемая, функции  $S$  и  $I$  являются взаимоисключающими т. е. может быть включена либо функция  $S$ , либо  $I$ , а одновременное включение функций  $S$  и  $I$  невозможно; 2)  $LSI$  — функция  $L$  неотключаемая, функции  $S$  и  $I$  могут быть включены одновременно.

2. Коммутацию необходимого в соответствии со схемой электроснабжения числа проводников, для чего должен иметь соответствующее количество полюсов.

3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением, для чего его *номинальное рабочее напряжение*  $U_e$  должно удовлетворять условию

$$U_{e.QF11} \geq U_{HH.ном}. \quad (2.36)$$

4. Длительное пропускание расчётного тока. Для этого *номинальный длительный ток*  $I_u$  (или *номинальный ток*  $I_n$ , или *условный тепловой ток на открытом воздухе*  $I_{th}$ )<sup>36</sup> автоматического выключателя должен быть не меньше расчётного тока в линии, где установлен данный аппарат

$$I_{u.QF11} \geq I_{B1}. \quad (2.37)$$

5. Кратковременное протекание максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания. Для автоматического выключателя  $QF11$  наиболее тяжёлым режимом является возникновение трёхфазного короткого замыкания непосредственно на его выводах (в месте присоединения кабеля КБ1 к  $QF11$ ), так как в этом случае ожидаемый ток короткого замыкания, протекающий через  $QF11$ , принимает максимально возможное в данной схеме значение. Пренебрегая внутренним сопротивлением автоматического выключателя  $QF11$ , за ожидаемый ток трёхфазного короткого замыкания на его выводах принимается ток трёхфазного короткого замыкания в точке  $O$   $I_{K30}^{(3)}$ . Таким образом, для надёжной работы автоматического выключателя  $QF11$  необходимо, чтобы его *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность*  $I_{cs}$  при заданном напряжении сети удовлетворяла условию

$$I_{cs.QF11} \geq I_{K30}^{(3)}. \quad (2.38)$$

Для автоматических выключателей в литом корпусе *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность*  $I_{cs}$ , как правило, приводится в процентах от *номинальной предельной наибольшей отключающей способности*  $I_{cu}$ . В этом случае значение  $I_{cs}$  определяется при помощи пропорции.

---

<sup>36</sup> ГОСТ Р 50030.2–2010 (МЭК 60947–2:2006). Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели. пп. 4.3.2.3.

## Э л е к т р о н н ы й   р а с ц е п и т е л ь

6. Защиту кабеля КБ1 в случае превышения протекающим через него током длительно допустимого значения  $I_{Z1}$ , а также длительное пропускание расчётного тока кабеля  $I_{B1}$ . Для этого необходимо подобрать электронный расцепитель с функцией  $L$ . Номинальный ток расцепителя  $I_n$  должен быть выбран таким образом, чтобы диапазон регулирования уставки с *длительной обратнозависимой выдержкой времени*  $I_r$  (у  $ABB I_1$ ) включал в себя значение длительно допустимого тока защищаемого кабеля  $I_{Z1}$ . Из данного диапазона необходимо выбрать конкретное значение уставки  $I_r$ , учитывая приведённый в техническом каталоге шаг регулирования, которая удовлетворяет условию<sup>37</sup>

$$I_{B1} \leq I_{r.QF11} \leq I_{Z1}, \quad (2.39)$$

при этом значение  $I_r$  рекомендуется выбирать как можно ближе к длительно допустимому току кабеля.

7. Защиту кабеля КБ1 и выключателя-разъединителя  $QS1$  от коротких замыканий, а также селективную работу с нижестоящими автоматическими выключателями. Обеспечение последнего требования имеет ряд особенностей, которые могут быть проиллюстрированы на следующем примере.

При возникновении однофазного короткого замыкания на *вводах*  $QF1$  (т. е. в конце кабеля КБ1 или в точке  $I$ ) возникает ток значением  $I_{K31}^{(1)}$ . Этот ток не протекает через  $QF1$ , так как место короткого замыкания находится выше его по схеме электроснабжения, поэтому  $QF1$  не реагирует на аварию. В этом случае мгновенное расцепление должен обеспечить  $QF11$ .

С другой стороны, при возникновении однофазного короткого замыкания на *выводах*  $QF1$  (в месте присоединения кабеля КБ2 к  $QF1$ ) должно происходить мгновенное расцепление  $QF1$ . С точностью до сопротивления  $QF1$  значение тока при такой аварии так же, как и в предыдущем случае, равно  $I_{K31}^{(1)}$ . Однако этот ток будет протекать одновременно как через  $QF1$ , так и  $QF11$ .

Таким образом, получается, что  $QF1$  и  $QF11$  по условиям защиты от короткого замыкания должны обеспечивать мгновенное расцепление при

---

<sup>37</sup> Уставка  $I_r$  регулируется в ограниченном диапазоне кратностей относительно номинального тока расцепителя  $I_n$ . Поэтому зачастую для обеспечения требования (2.39) необходимо выбирать номинальный ток расцепителя  $I_n$  значительно меньше, чем *номинальный длительный ток*  $I_n$  автоматического выключателя, на который этот расцепитель устанавливается.

одном и том же значении тока  $I_{K31}^{(1)}$ . За счет этого появление короткого замыкания в отходящей линии на *выводах*  $QF1$  может приводить к отключению  $QF11$ , расположенного в общей линии, что повлечет за собой обесточивание всех потребителей, получающих питание по линии КБ1. В этом случае требования селективности не выполняются.

Для надежности электроснабжения необходимо обеспечить селективную работу  $QF1$  и  $QF11$  при помощи задания преднамеренной задержки времени расцепления  $QF11$  при протекании через него токов короткого замыкания в точке  $I$ . Для этого у электронного расцепителя  $QF11$  должна быть включена функция  $S$ , у которой необходимо установить выдержку времени расцепления, что позволит обеспечить временную селективность между  $QF1$  и  $QF11$ . При этом функция  $I$  при её наличии должна быть отключена.

Функция  $S$  имеет возможность настройки уставок тока расцепления  $I_{sd}$  (у *ABB*  $I_2$ ) и времени расцепления  $t_{sd}$  (у *ABB*  $t_2$ ), которые должны быть выбраны исходя из следующих условий:

$$I_{sd.QF11} < I_{K31}^{(1)}, \quad (2.40)$$

$$t_{sd.QF11} \leq t_{д.QS1}. \quad (2.41)$$

В табл. 2.9 и на рис. 2.12 приведён пример оформления таблицы выбора автоматического выключателя в литом корпусе  $QF11$  с электронным расцепителем по техническому каталогу [5]. Общий вид передней панели электронного расцепителя *Ekip LS/I* представлен на рис. 2.13. Положения переключателей соответствуют выбранным уставками.

Таблица 2.9

### Пример выбора автоматического выключателя $QF11$

№ крит.	Исходные данные		Усл.	Предварительный вариант аппарата <i>XT2N 160 3P + Ekip LS/I In = 63</i>	
Автоматический выключатель <i>XT2N 160 3P</i>					
1	Частота сети, Гц	50	=	<i>Ном. частота</i> , Гц	50
2	Число коммутируемых проводников	3	=	<i>Кол-во полюсов</i>	3
3	Ном. напряжение сети $U_{HH.ном}$ , В	400	$\leq$	<i>Номинальное рабочее напряжение, <math>U_{e.QF1}</math></i> , В	690



Продолжение таблицы 2.9

4	Расчётный ток кабеля КБ1 $I_{B1}$ , А	33	$\leq$	Ном. длительный ток авт. выкл. $I_{u.QF11}$ , А	160
5	Ток трёхфазного КЗ в т. 0 $I_{K30}^{(3)}$ , кА	15,61	$\leq$	Ном. рабочая наибольшая отключающая способность, $I_{cs.QF11}$ , кА	36
Электронный расцепитель <i>Ekip LS/I</i> с номинал. током $I_n = 63$ А					
6	Расчётный ток кабеля КБ1 $I_{B1}$ , А	33	$\leq$	Функция <i>L</i> : уставка $I_1$ , А Диапазон: $(0,4-1) \cdot I_n$ Шаг $0,04 \cdot I_n$	52,92 $(0,84 \cdot I_n)$
	Длительно допустимый ток кабеля КБ1 $I_{Z1}$ , А	55	$\geq$		
7	Ток однофазного КЗ в т. 1 $I_{K31}^{(1)}$ , кА	0,99	$\geq$	Функция <i>S</i> : уставка $I_2$ , А Диапазон: $(1-10) \cdot I_n$ Шаг $0,5 \cdot I_n$	504 $(8 \cdot I_n)$
	Доп. время протекания тока КЗ через <i>QS1</i> по формуле (2.35) $t_{д.QS1}$ , с	1	$\geq$	Функция <i>S</i> : уставка $t_2$ , с Значения: 0,1 или 0,2 с	0,1
Вывод: Автоматический выключатель <i>XT2N 160 3P</i> с электронным расцепителем <i>Ekip LS/I</i> $I_n = 63$ А полностью удовлетворяет всем критериям Настройки расцепителя: $L$ : $I_1 = 0,84 \cdot I_n = 52,9$ А; $t_1 = 36$ с <sup>38</sup> ; $S$ : $I_2 = 8 \cdot I_n = 504$ А; $t_2 = 0,1$ с; $I$ : отключена					

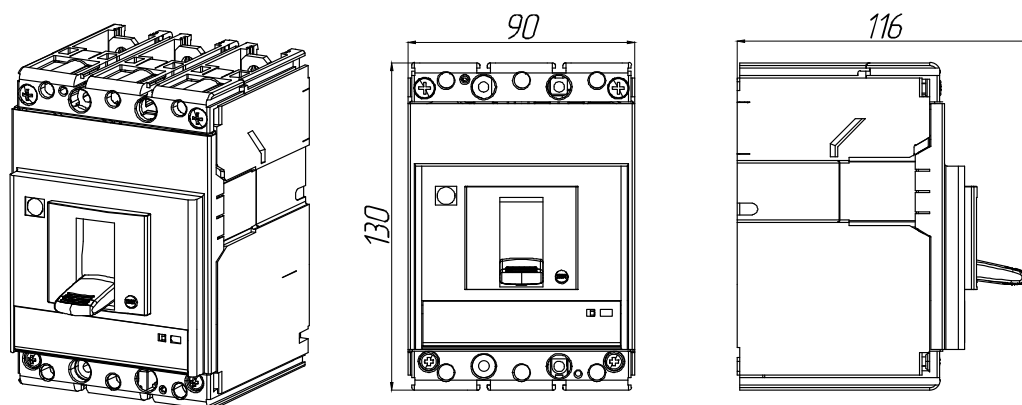


Рис. 2.12. Общий вид и габаритные размеры автоматического выключателя в литом корпусе *XT2N 160 3P*

<sup>38</sup> Время срабатывания  $t_1$  на первом этапе выбирается произвольно из дискретного ряда значений, заданных в техническом каталоге. Затем при построении карты селективности проводится проверка того, что времятоковая характеристика функции *L* не пересекает и расположена на достаточном удалении от времятоковых характеристик *QF1* и теплового реле *KK1*.

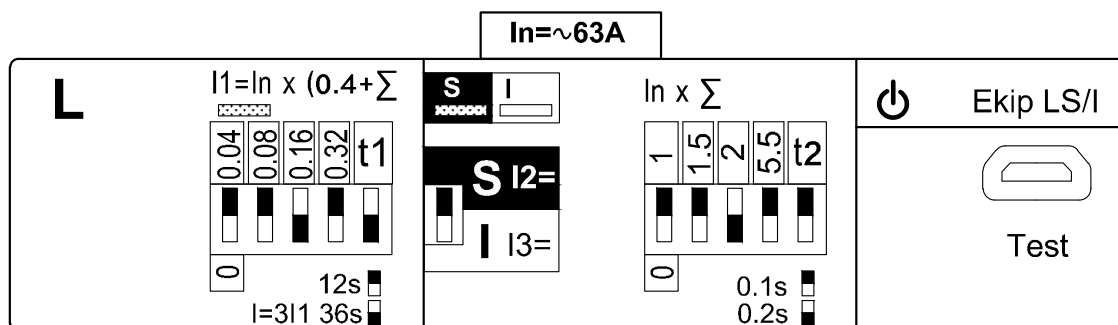


Рис. 2.13. Передняя панель электронного расцепителя *Ekip LS/I* для *XT2N*. Положения переключателей соответствуют настройкам табл. 2.9.

## 2.10.2 Критерии выбора автоматического выключателя *QF10*

В качестве аппарата защиты, устанавливаемого в цепь обмотки низшего напряжения трансформатора, рекомендуется выбирать *автоматический выключатель в литом корпусе* и электронный расцепитель, от которых требуется соответствие ряду критериев, согласно которым они должны обеспечивать:

А в т о м а т и ч е с к и й   в ы к л ю ч а т е л ь

1. Работу в сети переменного тока АС с частотой 50 Гц.
2. Коммутацию необходимого числа проводников, для чего должен иметь соответствующее количество полюсов.
3. Работу в сети с заданным номинальным напряжением, для чего его *номинальное рабочее напряжение*  $U_e$  должно удовлетворять условию

$$U_{e.QF10} \geq U_{HH.ном} \cdot \quad (2.42)$$

4. Длительное пропускание расчётного тока. Для этого *номинальный длительный ток*  $I_u$  (или *номинальный ток*  $I_n$ , или *условный тепловой ток на открытом воздухе*  $I_{th}$ )<sup>39</sup> выключателя должен быть не меньше номинального тока обмотки низшего напряжения трансформатора  $I_{HH.ном}$

$$I_{u.QF10} \geq I_{HH.ном} \cdot \quad (2.43)$$

<sup>39</sup> ГОСТ Р 50030.2–2010 (МЭК 60947–2:2006). Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели. пп. 4.3.2.3.

5. Кратковременное протекание максимально возможного в месте его установки тока короткого замыкания  $I_{K30}^{(3)}$ . Для этого необходимо, чтобы его *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность*  $I_{cs} QF10$  при заданном напряжении сети удовлетворяла условию

$$I_{cs.QF10} \geq I_{K30}^{(3)}. \quad (2.44)$$

6. Селективную работу с нижестоящим автоматическим выключателем  $QF11$ . Обеспечение этого требования имеет важную особенность. Уставка тока мгновенного расцепления для автоматического выключателя  $QF10$  должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечивалось его мгновенное расцепление при токе трёхфазного короткого замыкания в точке  $O$   $I_{K30}^{(3)}$ .

С другой стороны, при возникновении трехфазного короткого замыкания на выводах нижестоящего  $QF11$  (т. е. в месте присоединения кабеля КБ1 к  $QF11$ ) возникает ток приблизительно такого же значения  $I_{K30}^{(3)}$ . Этот ток  $QF11$  должен отключать мгновенно, что обеспечено соответствующими настройками его расцепителя. Однако в этом случае ток короткого замыкания  $I_{K30}^{(3)}$  протекает не только через  $QF11$ , но и через  $QF10$ , расцепитель которого также настроен на его отключение. В результате возможна ситуация, при которой  $QF10$  сработает раньше  $QF11$ , что приведёт к нарушению электроснабжения всех линий, питающихся от трансформатора.

Зачастую *автоматические выключатели в литом корпусе* имеют встроенную самозащиту, которая устанавливает токовый предел  $I_{io}$  действия функции  $S$ . *Автоматические выключатели в литом корпусе* обычно являются токоограничивающими, и значение  $I_{io}$  соответствует началу электродинамического отброса контактов, который выполняет функцию расцепителя *сверхмгновенного действия*<sup>40</sup>. Значение тока  $I_{io}$  зависит от типоразмера выключателя и приводится в технических каталогах. Например, у автоматических выключателей фирмы *ABB* значение  $I_{io}$  может быть получено из времятоковой характеристики расцепителя (см. приложение Д).

В таком случае селективную работу  $QF10$  и  $QF11$  можно обеспечить двумя способами:

6.1. Если  $I_{K30}^{(3)} > I_{io.QF10}$ , то между  $QF10$  и  $QF11$  можно обеспечить только энергетическую селективность, которая основана на следующем явлении. Если через  $QF10$  и  $QF11$  протекают токи одинакового значения,

---

<sup>40</sup> ГОСТ Р 50030.2–2010 (МЭК 60947–2:2006). Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели. пп. 8.3.5.

превышающего  $I_{io}$ , то контакты аппарата меньшего типоразмера из данной пары размыкаются быстрее за счёт разницы в массе их контактных систем. Селективная работа пары аппаратов проверяется экспериментально производителем. Результаты этих испытаний приводятся в таблицах координации [6, с. 140–145]<sup>41</sup>, из которых можно определить предельный ток селективности пары  $QF10$  и  $QF11$  (см. приложение Е). Таким образом, для обеспечения энергетической селективности между  $QF10$  и  $QF11$  необходимо, чтобы они были разного типоразмера, а также чтобы функция  $I$  у  $QF10$  была отключена. Также требуется, чтобы предельный ток селективности по таблице координации соответствовал условию:

$$I_s \geq I_{K30}^{(3)}. \quad (2.45)$$

Уставки  $t_{sd.QF10}$  и  $I_{sd.QF10}$  на первом этапе выбираются произвольно, затем по карте селективности проверяется, что между времятоковыми характеристиками  $QF10$  и  $QF11$  имеется запас по времени расцепления минимум в 50 мс во всем диапазоне токов, кроме зоны электродинамического отброса контактов.

#### Э л е к т р о н н ы й   р а с ц е п и т е л ь

6.2. Если  $I_{K30}^{(3)} < I_{io.QF10}$ , то между  $QF10$  и  $QF11$  можно обеспечить временную селективность. Для этого необходимо задать задержку времени расцепления  $t_{sd}$  в расцепителе автоматического выключателя  $QF10$  выше аналогичной уставки у  $QF11$  с минимальным запасом в 50 мс с учётом погрешности времени расцепления. Уставку  $I_{sd}$  необходимо задать меньше тока  $I_{K30}^{(3)}$

$$t_{sd.QF10} > t_{sd.QF11} + 50 \text{ мс}, \quad (2.46)$$

$$I_{sd.QF10} < I_{K30}^{(3)}. \quad (2.47)$$

7. Защиту трансформатора от перегрузки, а также длительное пропускание номинального тока обмотки низшего напряжения трансформатора  $I_{HH.ном}$ . Для этого необходимо наличие у электронного расцепителя функции  $L$ . Номинальный ток  $I_n$  расцепителя должен быть выбран таким образом, чтобы диапазон регулирования его уставки с длительной обратнозависимой выдержкой времени  $I_{r.min} - I_{r.max}$  (у ABB  $I_1$ )

---

<sup>41</sup> В таблицах координации значение « $T$ » означает, что предельный ток селективности определяется наименьшим значением номинальной предельной наибольшей отключающей способности  $I_{cu}$  выключателя из данной пары.

включал в себя значение номинального тока обмотки низшего напряжения трансформатора  $I_{\text{НН.ном}}$

$$I_{r.\min} \leq I_{\text{НН.ном}} \leq I_{r.\max} \quad (2.48)$$

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

В табл. 2.10 и на рис. 2.14 приведён пример выбора автоматического выключателя в литом корпусе  $QF10$  с электронным расцепителем по техническому каталогу [7]. Общий вид передней панели электронного расцепителя  $PR221DS$  представлен на рис. 2.15. Положения переключателей соответствуют выбранным уставкам.

Таблица 2.10

### Пример выбора автоматического выключателя $QF10$

№ крит.	Исходные данные	Усл.	Предварительный вариант аппарата <i>T6N + PR221DS</i>		
Автоматический выключатель <i>T6N</i>					
1	Частота сети, Гц	50	=	<i>Ном. частота</i> , Гц	50
2	Число коммутируемых проводников	3	=	<i>Кол-во полюсов</i>	3
3	Ном. напряжение сети <i>U<sub>НН.ном</sub></i> , В	400	≤	<i>Номинальное рабочее напряжение, U<sub>e.QF1</sub></i> , В	690
4	Ном. ток обмотки НН транс. <i>I<sub>НН.ном</sub></i> , А	909,3	≤	<i>Ном. длительный ток авт. выкл. I<sub>u.QF11</sub></i> , А	1000
5	Ток трёхфазного КЗ в т. 0 <i>I<sub>КЗ0</sub><sup>(3)</sup></i> , кА	15,63	≤	<i>Ном. рабочая наибольшая отключающая способность, I<sub>cs.QF11</sub></i> , кА	36
6.1	Ток трёхфазного КЗ в т. 0 <i>I<sub>КЗ0</sub><sup>(3)</sup></i> , кА	15,63	≥	Ток самозащиты <i>I<sub>io</sub></i> , кА	9,6
	Нижестоящий автоматический выключатель	<i>XT2N</i>	⇒	Предельный ток энергетической селективности <sup>42</sup> , кА	<i>T</i> ⇒ 36 < 15,63

<sup>42</sup> См. приложение Е

Расцепитель $PR221DS$ $I_n = 1000$ А					
7	Ном. ток обмотки НН трансформат. $I_{НН.ном}$ , А	909,3	$\leq$	Номинальный ток расцепителя $I_n$ , А	1000
			$\approx$ $>$	Функц. $L$ : уставка $I_1$ , А Диапазон: $(0,4-1) \cdot I_n$ шаг $0,04 \cdot I_n$	$0,88 \cdot I_n = 880$
Необходимым условиям удовлетворяет автоматический выключатель $T6N$ 1000 3P с электронным расцепителем $PR221DS$ $I_n=1000$ с настройками <sup>43</sup> : $L$ : $I_1 = 0,88 \cdot I_n = 880$ ; $t_1 = 12$ с; $S$ : $I_2 = 4,5 \cdot I_n = 4500$ А; $t_2 = 0,1$ с; $I$ : отключена.					

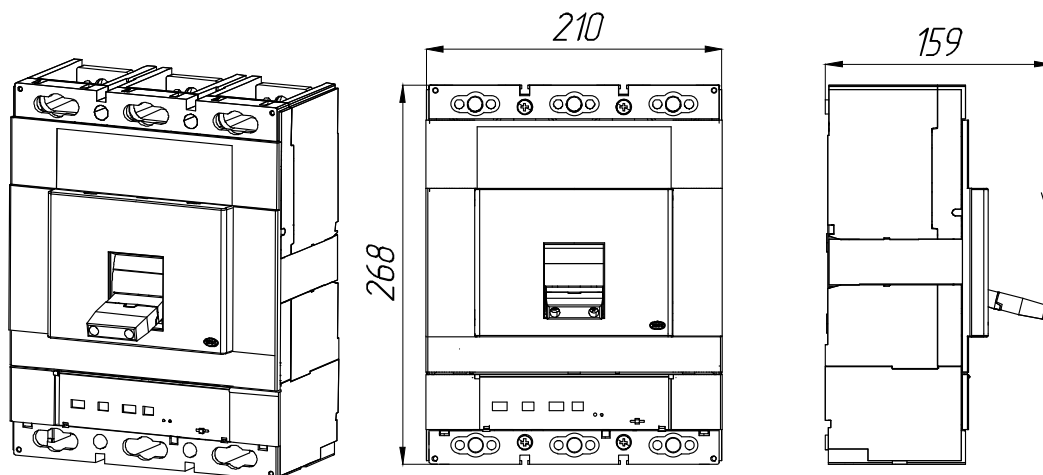


Рис. 2.14. Общий вид и габаритные размеры автоматического выключателя в литом корпусе  $T6N$  1000 3P

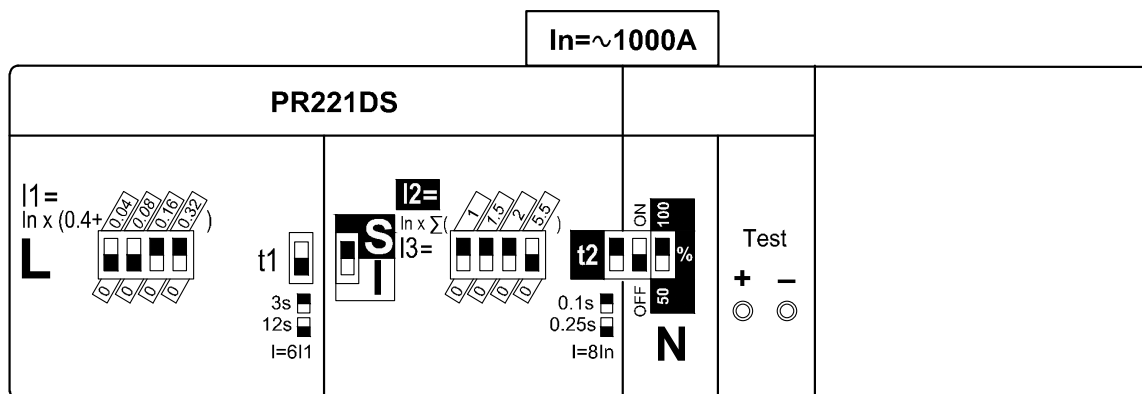


Рис. 2.15. Передняя панель электронного расцепителя  $PR221DS$  для  $T6N$ .  
Положения переключателей соответствуют настройкам табл. 2.10

<sup>43</sup> На первом этапе уставки  $t_1$ ,  $I_2$ ,  $t_2$  выбираются произвольно из ряда заданных в техническом каталоге значений. Затем при построении карты селективности проводится проверка того, что времятоковая характеристика  $QF10$  не пересекает времятоковую характеристику  $QF11$  и расположена от неё на достаточном удалении. Если это условие не выполняется, то вносятся коррективы в настройки расцепителей.

## 2.11 Клеммные колодки

Для подсоединения вводного кабеля КБ1 и отходящих кабелей КБ2–КБ8 к НКУ рекомендуется предусмотреть *клеммные колодки с выводами винтового типа* и креплением на *DIN*-рейку. Основное назначение клеммных колодок — это электрическое соединение внешних кабелей с НКУ. Использование *клеммных колодок* зачастую позволяет облегчить работу при сборке НКУ и упростить подключение вводного и отходящих кабелей, а также снизить вероятность ошибочных электрических соединений при монтаже НКУ непосредственно на объекте.

В проекте рекомендуется использовать два типа клеммных колодок:

1. *Проходные*. Имеют зажимы, которые напрямую электрически соединяются между собой внутри клеммной колодки. Такие клеммы изолированы от *DIN*-рейки, на которую они устанавливаются.

2. *Заземляющие*. Так же как и проходные, имеют соединённые между собой зажимы. Однако в отличие от проходных их зажимы имеют дополнительный электрический контакт с *DIN*-рейкой, который обеспечивается специальным контактом на задней стороне клеммной колодки.

Основные критерии выбора клеммных колодок — это возможность подключения жилы кабеля необходимого сечения, а также их цветовая маркировка. Клеммные колодки для *N*-проводников рекомендуется выбирать синего цвета, для *РЕ*-проводников — жёлто-зелёного цвета, для фазных проводников — серого, коричневого, чёрного или красного цветов. Минимальное количество клеммных колодок определяется *числом жил* всех кабелей на входе и на выходе НКУ. При этом для фазных (*L1*, *L2*, *L3*) и нулевых рабочих жил *N* необходимо подобрать проходные клеммы, а для *защитного проводника РЕ* — заземляющие. Важно отметить, что на вводе в НКУ происходит разделение *PEN*-проводника на *РЕ*-проводник и *N*-проводник в соответствии с системой заземлений *TN–C–S*, в связи с этим на вводе в НКУ рекомендуется предусмотреть заземляющую клемму *РЕ* и проходную клемму *N* и далее при построении чертежа добавить между ними перемычку, либо использовать специальную клеммную колодку для разделения *PEN*-проводника. Важно отметить, что к одному выводу (зажиму) клеммных колодок и аппаратов допускается подключать не более двух проводников. По этой причине соединения внутри НКУ иногда требуют наличия дополнительных клеммных колодок. Таким образом, окончательное число клеммных колодок становится понятным на этапе создания чертежа общего вида НКУ (см. раздел 3).

Например, в рассматриваемой схеме электроснабжения вводной кабель КБ1 имеет 4 жилы ( $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$ ,  $PEN$ ). На вводе в НКУ предусмотрено разделение  $PEN$ -проводника на  $PE$ -проводник и  $N$ -проводник. Поэтому на вводе в НКУ потребуется минимум четыре проходных клеммы и одна заземляющая. Так как сечение жил кабеля КБ1  $10 \text{ мм}^2$ , то в соответствии с этим сечением по [8] выбираются винтовые клеммы с установкой на  $DIN$ -рейку  $M10/10 \times 4$  шт.,  $M10/10.P \times 1$  шт. Однако впоследствии на вводе в НКУ на рис. 3.1 установлена дополнительная клеммная колодка для  $N$ -проводника, необходимая для обеспечения внутренних электрических соединений в НКУ.

## 2.12 Карта селективности

Карта селективности представляет собой построенную в одной системе координат совокупность времятоковых характеристик последовательно соединённых аппаратов защиты. По оси абсцисс откладывается значение тока в амперах, а по оси ординат — время расцепления.

Токи коротких замыканий превышают номинальные токи на несколько порядков. Время срабатывания расцепителя мгновенного действия составляет миллисекунды, тогда как время срабатывания расцепителей с обратозависимой выдержкой при малых токах перегрузки — порядка часа. Отображение таких разномасштабных значений на одном графике в линейном представлении затруднительно. В связи с этим при построении карты селективности используется логарифмический масштаб как по оси абсцисс, так и по оси ординат.

В рамках проекта на карту селективности выносятся:

— Времятоковые характеристики аппаратов в соответствии с выбранными уставками:  $QF1$ ;  $KK1$ ;  $QF11$ ;  $QF10$ .

— Линии, соответствующие рассчитанным ранее токам:  $I_{Z1}$ ;  $I_{B1}$ ;  $I_{Z2}$ ;  $I_{B2}$ ;  $I_{HH.ном}$ ,  $I_{K32}^{(1)}$ ,  $I_{K32}^{(3)}$ ,  $I_{K31}^{(1)}$ ,  $I_{K31}^{(3)}$ ,  $I_{K30}^{(3)}$ , а также предельный ток энергетической селективности  $I_s$  между  $QF10$  и  $QF11$ .

— Пусковая характеристика электродвигателя.

Карта селективности, построенная в соответствии с данными табл. 2.3, 2.5, 2.9, 2.10, представлена на рис. 2.16. В целях удобочитаемости на нее не нанесены токи КЗ, однако в проекте необходимо нанести рассчитанные токи КЗ в виде вертикальных линий.

Необходимо отметить, что расцепители имеют погрешности срабатывания как по току, так и по времени. По этой причине в общем случае времятоковая характеристика любого аппарата защиты представляет собой две линии, соответствующие предельным значениям погрешностей срабатывания. Однако в учебных целях допускается



изображать только одну линию и указывать около неё значения погрешностей, как это сделано на рис. 2.16.

Времятоковые характеристики электромеханических расцепителей теплового реле *KK1* и автоматического выключателя для защиты электродвигателя *QF1*, как правило, доступны на сайте производителя оборудования. Необходимо перенести эти характеристики на карту селективности, отобразив при этом токовую уставку в соответствии с выбранными ранее настройками расцепителей.

Времятоковые характеристики электронных расцепителей доступны в каталогах, где они обычно даны для всего диапазона регулирования уставок. Методика построения времятоковой характеристики электронного расцепителя приведена в приложении Ж.

Построение пусковой характеристики двигателя производится по нескольким опорным точкам: ударный пусковой ток двигателя  $I_{д.у}$ , пусковой ток двигателя  $I_{д.п}$  и номинальный ток двигателя  $I_{д.ном}$  (см. приложение И).

Построение карты селективности проводится в учебных целях, и поэтому необходимо выполнять её или вручную, или с использованием программного обеспечения *Excel*, *Autocad*, Компас и т. д. По этой же причине не рекомендуется использовать специализированное программное обеспечение для построения карт селективности, предоставляемое производителем оборудования. Такие программы представляют собой мощный профессиональный инструмент, однако использование его на первых этапах обучения значительно снижает уровень понимания проведённых построений.

## Контрольные вопросы

1. Поясните, что подразумевается под термином «модульное оборудование»?
2. Чему равна ширина одного *DIN*-модуля?
3. В чём заключаются преимущества и недостатки модульных автоматических выключателей?
4. По каким критериям выбирается номинальный ток модульного автоматического выключателя?
5. Какому условию должна соответствовать номинальная рабочая наибольшая отключающая способность?
6. Какие типы характеристик мгновенного расцепления существуют у модульных автоматических выключателей? Изобразите их времятоковые характеристики и обозначьте на них характерные точки: номинальный ток автоматического выключателя, диапазон токов мгновенного расцепления, наибольшую отключающую способность.

7. В чём заключается основное отличие ВДТ от АВДТ?
8. Почему при выборе устройства дифференциальной защиты в рамках проекта рекомендуется выбирать номинальный отключающий дифференциальный ток 30 мА, а не 10 мА или 100 мА?
9. В чём состоят основные особенности автоматического выключателя для защиты электродвигателя и какие его отличия от модульного автоматического выключателя?
10. В чём заключаются основные отличия автоматического выключателя от контактора?
11. Какие типы цепей выделяют в контакторе? В чём заключается их назначение?
12. Что необходимо сделать, чтобы включить электромагнитный контактор?
13. Какие типы цепей выделяют в тепловом реле? В чём заключается их назначение?
14. Каким образом производится регулирование токовой уставки теплового реле?
15. Относительно какого тока настраивается уставка теплового реле?
16. Поясните, что происходит в схеме при срабатывании теплового реле?
17. Объясните устройство и принцип действия плавкого предохранителя?
18. В чём основное назначение выключателя-разъединителя и можно ли вместо него в схеме использовать модульный автоматический выключатель?
19. Какие основные особенности есть у автоматических выключателей в литом корпусе?
20. Какие функции электронных расцепителей в области защиты от сверхтоков используются в проекте?
21. Каким образом в проекте обеспечивается селективность между автоматическими выключателями *QF10* и *QF11*?
22. Каково основное назначение клеммных колодок?
23. Какие виды клеммных колодок используются в проекте и в чём их отличия?



## 3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ПРОРАБОТКА ПРОЕКТА

Итоговым этапом проекта является разработка чертежа общего вида НКУ. Для более ясного понимания компоновки реального НКУ на рис. 3.1 представлена трёхмерная модель, выполненная в соответствии с приведёнными в пособии примерами выбора аппаратов. **К защите необходимо подготовить только двумерную версию чертежа общего вида (главный вид),** о котором и пойдёт речь далее.

На чертёж общего вида НКУ выносятся следующие аппараты: выключатель нагрузки *QS1*, автоматический выключатель для защиты электродвигателя *QF1*, контактор *KM1*, тепловое реле *KK1* при его наличии, держатель предохранителя *FU1*, кнопки *SB1*, *SB2*, а также все аппараты защиты в цепях однофазных нагрузок *QF2–QF4*, *FD1–FD3* и клеммные колодки. Для работы над чертежом рекомендуется использовать средства автоматизированного проектирования (САПР) *Autocad*, Компас и др. Процесс разработки чертежа структурно подразделяется на несколько этапов, приведенных далее.

### 3.1 Подготовка чертежей аппаратов

На первом этапе необходимо подготовить чертежи всех необходимых элементов НКУ. Чертежи аппаратов следует загружать с сайта производителя используемого оборудования или вычерчивать их самостоятельно. Чертежи аппаратов должны отвечать следующим требованиям:

- габаритные размеры устройств должны точно соответствовать приведённым в каталоге данным,

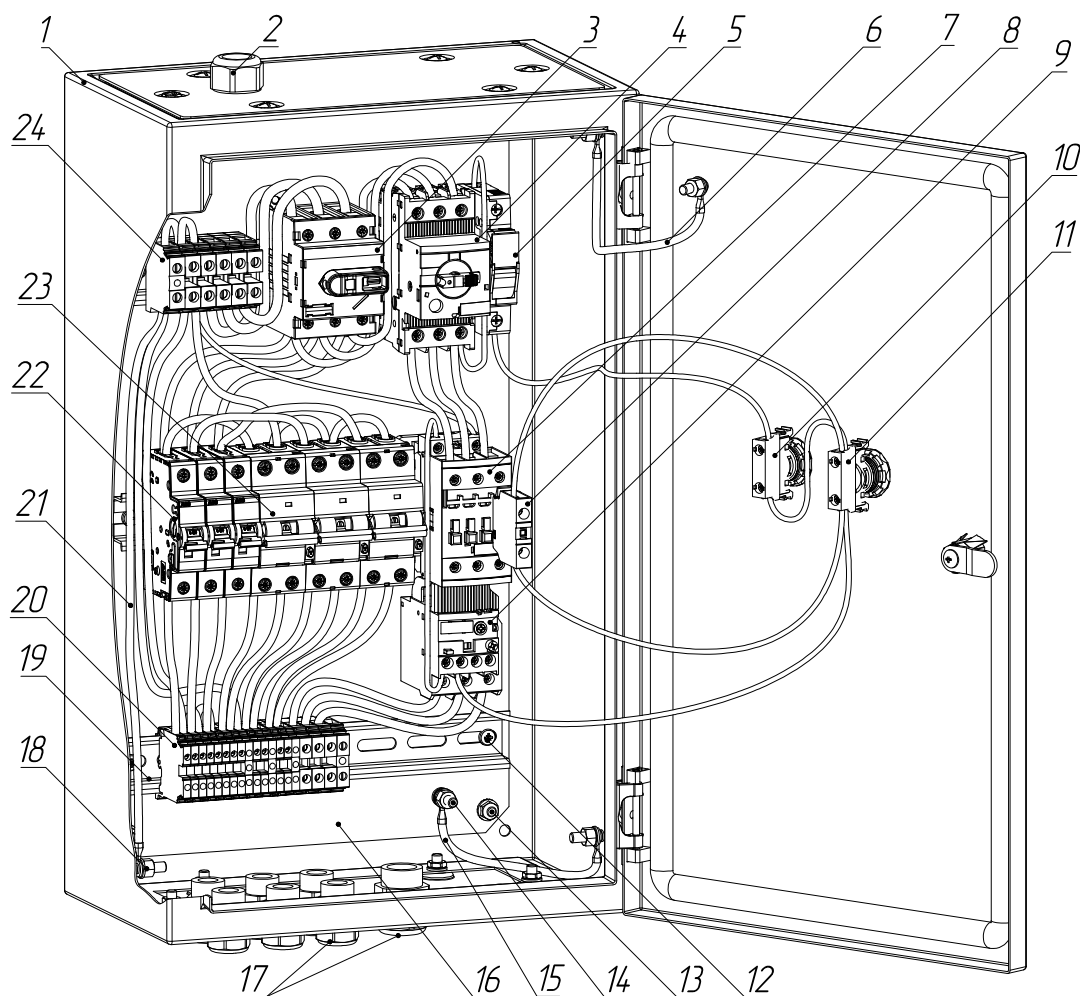
- необходимо изображать все клеммы, а также маркировать их так, как это сделано на корпусе реального устройства (прим. *L*, *N*, *A1*, *A2*, *13*, *14*, *NO*, *NC* и т. д.),

- для автоматических выключателей нужно изобразить рукоятки управления, для тепловых реле и аппаратов защиты электродвигателя с тепловым расцепителем — регулятор тока уставки тепловой защиты.

Рекомендуется располагать аппараты на *DIN*-рейках шириной 35 мм. Размеры *DIN*-реек стандартизованы<sup>44</sup>, и их чертежи находятся в свободном доступе в интернете.

---

<sup>44</sup> ГОСТ Р МЭК 60715–2003. Установка и крепление на рейках электрических аппаратов в низковольтных комплектных устройствах распределения и управления.



**Рис. 3.1. Трёхмерная модель НКУ<sup>45</sup>:**

- 1 – оболочка НКУ (шкаф) *SRN5320K 500×300×200* мм; 2 – кабельный ввод *CGS–M25* для питающего кабеля КБ1; 3 – выключатель-разъединитель *QS1 OT63F3*;  
 4 – автоматический выключатель для защиты электродвигателя *QF1 MO132–16*;  
 5 – предохранитель-разъединитель *FU1 E 91/32*; 6 – PE-проводник, обеспечивающий видимое соединение дверцы шкафа с цепью защиты;  
 7 – контактор *KM1 AF26–30–00–13*; 8 – вспомогательный контактный блок *CA4–10* для контактора *KM1*; 9 – тепловое реле перегрузки *KK1 TF42–16*; 10 – контактный блок *MCB–01* кнопки стоп *SB2*; 11 – контактный блок *MCB–10* кнопки пуск *SB1*;  
 12 – саморез с крестообразным шлицем 4,2×13 мм для крепления DIN-рейки к монтажной панели; 13 – встроенная в шкаф шпилька M6 для крепления монтажной панели, гайка и шайба; 14 – болт M6 для присоединения монтажной панели к цепи защиты, гайка, шайба; 15 – PE-проводник, обеспечивающий видимое соединение монтажной панели с цепью защиты; 16 – монтажная панель (в комплекте со шкафом); 17 – кабельные вводы *CGS–M20* 6 шт. для отходящих кабелей КБ3–КБ8 и *CGS–M25* 1 шт. для отходящего кабеля КБ2; 18 – встроенная в шкаф шпилька M6 для присоединения корпуса шкафа к цепи защиты, гайка, шайба; 19 – DIN-рейка 35×15 мм; 20 – клеммные колодки с винтовыми зажимами для подключения отходящих кабелей КБ2–КБ8 *MA2.5/5×12* шт., *MA2.5/5.P×3* шт., *M6/8×3* шт., *M6/8.P×1* шт.;  
 21 – PE-проводник, обеспечивающий видимое соединение корпуса шкафа с цепью защиты; 22 – модульный автоматический выключатель *QF2 S201 B16*;  
 23 – модульный АВДТ *FD1 DS 201 L C25 A30*; 24 – винтовые клеммные колодки для подключения питающего кабеля КБ1 *M10/10×4* шт. и разделения PEN-проводника на PE и N проводники *M10/10.P×1* шт., доп. клеммная колодка для внутренних электрических соединений *M10/10×1* шт.

<sup>45</sup> Просмотр 3D-модели НКУ доступен по ссылке [http://bit.ly/distribution\\_board](http://bit.ly/distribution_board)

### 3.2 Компоновка оборудования

После того как получены чертежи всех нужных аппаратов необходимо как можно компактней расположить их на поле чертежа. При этом рекомендуется воспользоваться следующим алгоритмом:

1. Расположить несколько *DIN*-реек произвольной длины на поле чертежа таким образом, чтобы расстояние между их центральными осями составляло 125 мм или 150 мм (*DIN* 43880). При возникновении необходимости в дальнейшем это расстояние допускается увеличить.

2. Расположить оборудование на *DIN*-рейках, соблюдая правило, что нижестоящий по схеме электроснабжения аппарат должен быть расположен либо правее, либо ниже вышестоящего. По горизонтали допустимо устанавливать аппараты как вплотную, так и с зазорами, если не имеется иных требований производителя.

3. Оценить минимально необходимые габариты шкафа, куда будут помещены аппараты, учитывая, что минимальное расстояние от центральной оси *DIN*-рейки до верхней или нижней стенки шкафа — 100 мм. Рекомендуемое минимальное расстояние по вертикали от аппарата защиты электродвигателя до стенки шкафа — 75 мм.

### 3.3 Выбор оболочки НКУ

По проведённой оценке размеров необходимо подобрать оболочку НКУ (шкаф), габаритные размеры которой соответствуют определённым ранее требованиям. При этом не стоит выбирать слишком большой шкаф. По приблизительной оценке, на *DIN*-рейках должно оставаться не более 30 % свободного пространства.

Рекомендуется выбирать металлический шкаф с *монтажной рамой* для крепления *DIN*-реек или с *монтажной панелью*. Степень защиты шкафа должна быть не ниже *IP54*.

Например, для нужд рассматриваемой схемы электроснабжения (рис. В1) подходит шкаф *ABB* серии *SR2 SRN5320K* 500×300×200 мм [9].

### 3.4 Выполнение электрических соединений

Предварительно начерченные и скомпонованные аппараты необходимо соединить между собой в соответствии со схемой электроснабжения. Допускается каждый из соединительных проводов изображать как одной, так и двумя линиями. Питание на все аппараты должно подаваться строго на их верхние клеммы. Необходимо обеспечить, чтобы на чертеже было чётко различимо к какой именно клемме аппарата подключен каждый из соединительных проводов.

Кнопки цепи управления необходимо расположить на чертеже сбоку от шкафа, и выполнить все необходимые электрические соединения между кнопками и аппаратами внутри шкафа. При этом необходимо изобразить местный вид части дверцы шкафа, где располагаются кнопки управления.

В том случае, если на одной *DIN*-рейке установлены несколько заземляющих клеммных колодок, то допускается присоединять *РЕ*-проводник только к одной из них. В этом случае *DIN*-рейка выполняет функцию *РЕ*-шины<sup>46</sup>. Таким образом, получается, что все заземляющие клеммы, установленные на одной *DIN*-рейке, находятся под одним потенциалом.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током все токопроводящие части НКУ должны иметь надёжный и видимый электрический контакт с цепью защиты. Для этого необходимо выполнить электрические соединения при помощи защитных *РЕ*-проводников:

- клеммной колодки *РЕ* на вводе в НКУ с корпусом шкафа (позиция 21 на рис. 3.1).
- дверцы шкафа с корпусом шкафа (позиция 6, на рис. 3.1).
- монтажной панели с корпусом шкафа (позиция 15 на рис. 3.1).

Для выполнения указанных соединений используются встроенные в шкаф, дверцу и монтажную панель шпильки заземления, при их отсутствии в некоторых моделях шкафов необходимо предусмотреть болты заземления.

### 3.5 Оформление чертежа общего вида

Необходимо использовать наклонный шрифт типа А (ГОСТ 2.304–81) и основную надпись в соответствии с ГОСТ 2.104–2006.

Предпочтительный формат чертежа А1 или А2. При необходимости допускается выполнить чертёж в масштабе 1:2, что обязательно нужно отразить в основной надписи чертежа. Важно, что при масштабировании чертежа основная надпись не масштабируется. Иными словами, нельзя выполнить чертёж на А0, а распечатать его на А1, так как основная надпись при этом уменьшится пропорционально.

На чертеже должны быть проставлены позиции ко всем элементам: аппаратам, клеммным колодкам, *DIN*-рейке, монтажной панели, болтам, шкафу и т. д. При этом в правом верхнем углу чертежа должна быть расположена таблица с расшифровкой позиций, которая должна

---

<sup>46</sup> ГОСТ *IEC* 60947-7-2-2016. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 7-2. Электрооборудование вспомогательное. Колодки клеммные защитных проводников для присоединения медных проводников. пп. 7.1.7.

содержать название аппарата, буквенно-цифровое обозначение аппарата в соответствии со схемой, а также модель аппарата.

На чертеже указываются габаритные размеры шкафа, а также установочный размер болта заземления при его наличии.

На чертеже в области шпильки или болта заземления необходимо изобразить местный разрез, для обеспечения видимости выполненных соединений.

Во избежание неточностей при печати рекомендуется экспортировать созданный в САПР чертёж в формат *PDF*, тщательно проверить получившейся результат и отдавать именно этот *PDF*-файл на печать.

Перед тем как отдать чертёж на проверку, необходимо заполнить чек-лист, приведённый в приложении М.

### 3.6 Построение схемы электрической принципиальной

В завершение конструкторской части проекта оформляется принципиальная схема НКУ, на которую выносятся те же аппараты, что и на чертёж общего вида, но в виде условных графических обозначений. На принципиальной схеме также должна быть отражена информация о сечениях и длинах питающих и отходящих кабелях и их марках, а также параметрах нагрузки и моделях аппаратов. В рамках проекта требований к марке кабеля не установлено, однако при выборе необходимо понимать особенности данной марки. Принципиальная схема оформляется в формате А3. Пример оформления принципиальной схемы НКУ представлен на рис. 3.2.

### Контрольные вопросы

1. Поясните, по каким соображениям выбирается оболочка НКУ в проекте?
2. Чему равна стандартная ширина *DIN*-рейки?
3. Каково рекомендуемое расстояние между *DIN*-рейками по вертикали?
4. Каким аппаратом в Вашем НКУ определяется необходимая глубина шкафа? (какой аппарат имеет самый большой габарит по глубине?)
5. Поясните принцип выполнения электрических соединений внутри оболочки НКУ?
6. Объясните, как в проекте производится разделение *PEN*-проводника на *PE*- и *N*-проводники?



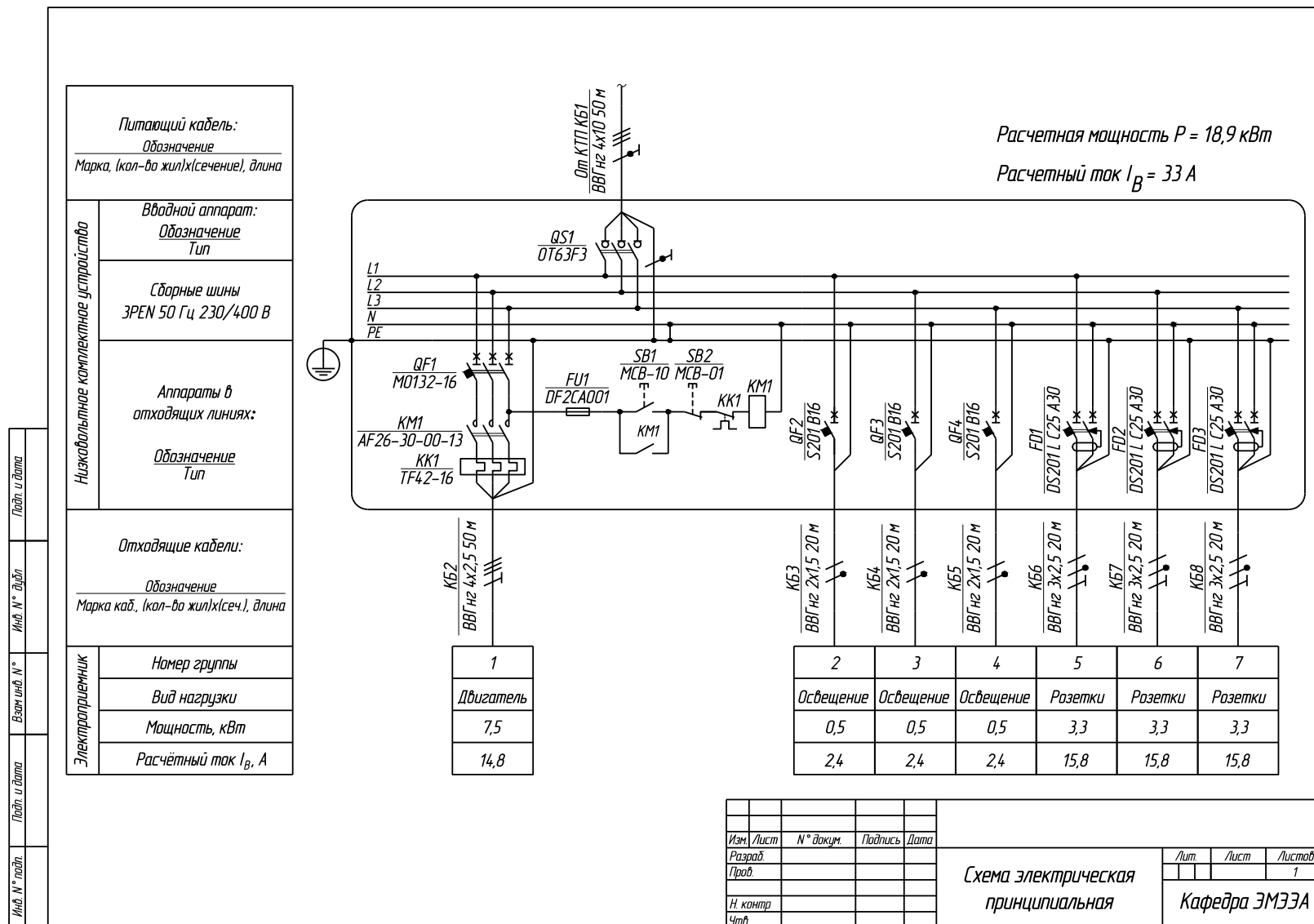


Рис. 3.2. Принципиальная электрическая схема групповой сети

## 4 ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

#### Основные требования к содержанию и оформлению РПЗ

*Расчётно-пояснительная записка должна содержать:*

- 1) задание с описанием исходных данных;
- 2) предварительные расчёты со сводными таблицами;
- 3) перечень аппаратуры управления и защиты, которую необходимо выбирать;
- 4) перечень основных технических параметров, по которым выбирались аппараты с указанием их значений;
- 5) результаты выбора аппаратов управления и защиты, их проверку и описание особенностей конструкции;
- 6) карту селективности.

*Графическая часть проекта должна содержать:*

- 1) конструктивное исполнение НКУ (вид спереди) с электрическими соединениями;
- 2) принципиальную схему НКУ (формат А3).

Пояснительная записка должна быть выполнена в текстовом редакторе *MS Word* в соответствии с ГОСТ 7.32–2001 и ГОСТ 2.105–95. С обязательным соблюдением следующих требований:

#### 1. Параметры страницы:

- а) размер страницы А4;
- б) поля страницы: верхнее и нижнее 2 см, левое — 3 см, правое — 1 см;
- в) печать односторонняя;
- г) номер страницы ставится в нижней части листа по центру, титульный лист имеет номер страницы 1, однако сама цифра на титульном листе не ставится.

#### 2. Основной текст:

- а) шрифт *Times New Roman*, размер 12;
- б) междустрочный интервал 1,5;
- в) выравнивание по ширине;
- г) абзацный отступ 1,25 см.

#### 3. Заголовки и подзаголовки:

- а) шрифт *Times New Roman*, размер 14;

- б) Заголовки – все заглавные буквы, подзаголовки — полужирный шрифт или курсивное начертание;
- в) выравнивание по центру без абзацного отступа;
- г) после заголовков и подзаголовков оставлять одну пустую строку.

#### 4. Формулы:

- а) структура формулы: «рассчитываемая переменная» = «формула с переменными» = «формула с безразмерными числами в той же последовательности, что и переменные» = «число» «размерность»;
- б) Шрифт строго *Times New Roman* или *Symbol*. Для набора формул рекомендуется использовать редактор формул *MathType*;
- в) размер шрифта 12;
- г) выравнивание формулы по центру;
- д) все формулы должны быть пронумерованы, номер формулы выравнивать по правому краю и заключать в скобки.

#### 5. Рисунки:

- а) все рисунки должны быть подписаны по форме: «Рисунок 1 – Название»;
- б) рисунки вместе с подрисуночной надписью выравниваются по центру страницы;
- б) на все рисунки должна быть ссылка в тексте, например «...на рисунке 1 изображено...».

#### 6. Таблицы:

- а) все таблицы должны быть подписаны по форме: «Таблица 1 – Название»;
- б) таблицы выравниваются по центру, а их названия — по левому краю страницы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Справочные данные

Таблица Б.1

Таблица Б.2

**Приближенные значения сопротивлений двух  
и трёхжильных кабелей на единицу длины  
[6, с. 294]**

Площадь поперечн. сеч. жилы кабеля $s$ , мм <sup>2</sup>	Удельное активное сопротивление $r_{уд}$ , мОм/м	Удельное индуктивное сопротивление $x_{уд}$ , мОм/м
1,5	15,1	0,118
2,5	9,08	0,109
4	5,68	0,101
6	3,78	0,0955
10	2,27	0,0861
16	1,43	0,0817
25	0,907	0,0813
35	0,654	0,0783
50	0,483	0,0779
70	0,334	0,0751
95	0,241	0,0762
120	0,191	0,074
150	0,157	0,0745
185	0,125	0,0742
240	0,0966	0,0752
300	0,078	0,075

**Приближенные значения  
активных сопротивления  
коммутационных  
аппаратов<sup>47</sup>**

Ном. ток $I_n$ , А	Сопрот. одного полюса $r_a$ , мОм
0,5	5500
1	1440
1,6	630
2	460
3	150
4	110
6	55
8	23
10	19
13	14
16	8,5
20	6,25
25	5,0
32	3,6
40	3,0
50	1,3
63	1,2
160	0,42
250	0,26
320	0,23
400	0,1
630	0,1
800	0,05
1000	0,05
1250	0,03
1600	0,03

<sup>47</sup>В учебных целях таблица Б.2 может быть использована для определения активного сопротивления всех коммутационных аппаратов в рамках проекта (автоматических выключателей, выключателей-разъединителей, контакторов, АВДТ и ВДТ). Значения активных сопротивлений для номинальных токов до 63 А приведены в соответствии с [1, с. 10/104]. Для номинальных токов от 160 А в соответствии со значениями рассеиваемой мощности автоматических выключателей в литом корпусе с электронными расцепителями [5, с. 4/34] и [7, с. 4/43].

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Алгоритм выбора автоматических выключателей по техническому каталогу модульного оборудования ABB [1]

Алгоритм выбора модели модульного автоматического выключателя структурно разделён на три основные части. На каждом из шагов область поиска постепенно сужается, приводя в конечном счёте к конкретной модели аппарата:

1. Выбор *серии* автоматического выключателя. Под *серией* понимается совокупность нескольких моделей устройств, имеющих одинаковые предельные технические характеристики, в частности, отключающую способность. В *серию* входят *модели* с различными номинальными токами, количеством полюсов и типами характеристик мгновенного расцепления.

2. Определение технических параметров, характерных для всех автоматических выключателей из выбранной *серии*, без привязки к конкретной модели аппарата.

3. Выбор конкретной *модели* модульного автоматического выключателя из выбранной *серии* и определение её технических характеристик.

#### 1 . В ы б о р с е р и и м о д у л ь н о г о а в т о м а т и ч е с к о г о в ы к л ю ч а т е л я

Предварительный выбор *серии* аппарата проводится по техническому каталогу модульного оборудования ABB [1] при помощи схемы, приведённой в [1, с. 2/2–2/3], соблюдая следующую последовательность действий:

1.1. Первый столбец схемы «Применение» определяет в соответствии с какими нормами должно быть выполнено НКУ. Все аппараты в проекте работают в сети переменного тока и их необходимо выбирать в соответствии со стандартом для промышленного применения ГОСТ Р 50030.2–2010 (МЭК 60947–2). Таким образом, необходимо выбрать строку «Промышленные объекты. Защита от сверхтоков согласно ГОСТ Р 50030.2-2010 (МЭК 60947-2)».

1.2. Во втором столбце «Отключающая способность  $I_{cn}$ » необходимо выбрать значение, которое должно быть не меньше, чем определённая по (2.2) *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность  $I_{cs}$* . Если условию (2.2) удовлетворяет сразу несколько значений отключающих способностей, то предпочтение следует отдавать наименьшему из них.

1.3. В третьем столбце «Номинальный ток» выбирается максимальное значение *номинального тока  $I_n$*  для аппаратов серии. Это

значение должно удовлетворять критерию (2.4). Если формуле (2.4) удовлетворяет сразу несколько значений предельных номинальных токов, то предпочтение следует отдавать наименьшему из них.

1.4. В четвёртом столбце «Полюса» проверяется, что данная серия автоматических выключателей имеет необходимое количество полюсов в соответствии с критерием 2, стр. 33.

1.5. В результате в пятом и шестом столбцах схемы приводится конкретная *серия* аппаратов, которая удовлетворяет всем описанным выше условиям, и номер страницы каталога, начиная с которой приведены технические данные *моделей* автоматических выключателей из данной *серии*.

## 2 . О п р е д е л е н и е   т е х н и ч е с к и х х а р а к т е р и с т и к   а п п а р а т о в   в ы б р а н н о й с е р и и

Определение общих для всей *серии* технических характеристик автоматических выключателей проводится по таблице из каталога [1, с. 2/4–2/7], в которой содержится несколько крупных строк, содержащих характеристики аппаратов в соответствии с различными стандартами. Определение параметров проводится в соответствии со следующей последовательностью:

2.1 Необходимо выбрать строку, которая относится к стандарту «IEC/EN 60947–2 Переменный ток»<sup>48</sup> и в дальнейшем работать только с ней. На этом этапе становится окончательно ясно, что выключатель выбранной *серии* способен работать с сети переменного тока АС. На основании этого заполняется строка 1 столбца с характеристиками аппарата табл. 2.1 стр. 35.

2.1. Перейти к строке « $I_{cs}$ », так как в итоге необходимо получить *номинальную рабочую наибольшую отключающую способность*  $I_{cs}$ .

2.2. В столбце «кол-во полюсов» выбрать необходимое количество полюсов в соответствии с критерием 2 стр. 33. На этом этапе заполняется строка 2 табл. 2.1 стр. 35.

2.3. В следующем столбце « $U_e$ » выбрать строку с необходимым значением *номинального рабочего напряжения*  $U_e$  в соответствии с выражением (2.1). Если условию (2.1) удовлетворяют сразу несколько значений  $U_e$ , то выбирается наименьшее из них. Полученным значением

---

<sup>48</sup> В рамках каталога стандарт для промышленного применения называется IEC/EN 60947–2, МЭК 60947–2 или ГОСТ Р 50030.2–2010. Во избежание путаницы необходимо иметь в виду, что содержательно это один и тот же стандарт.

номинального рабочего напряжения  $U_e$  заполняется строка 3 столбца с характеристиками аппарата табл. 2.1 стр. 35.

2.4. В результате пересечение последней выбранной строки и столбца с выбранной ранее *серией* аппарата даст *номинальную рабочую наибольшую отключающую способность*  $I_{cs}$ . Полученное значение  $I_{cs}$  вносится в строку 4 столбца с характеристиками аппарата табл. 2.1 стр. 35.

### 3. Выбор конкретной модели аппарата из серии и определение её технических характеристик

Определённые выше характеристики относятся ко всем моделям аппаратов *серии*. Для выбора конкретной *модели* аппарата из данной *серии* необходимо перейти на страницу каталога, определённую ранее в пп. 1.5 стр. 86 настоящего алгоритма. Начиная с этой страницы каталога, приведены конкретные модели автоматических выключателей. Выбор проводится по следующему алгоритму:

3.1. Определение *типа характеристики мгновенного расцепления и номинального тока*  $I_n$ . Этими двумя параметрами модульных автоматических выключателей определяется диапазон *токов мгновенного расцепления*  $I_i$ , который должен удовлетворять условию (2.3). Диапазон *токов мгновенного расцепления*  $I_i$  определяется для *типов характеристик мгновенного расцепления*  $B$ ,  $C$ ,  $D$  как  $(3-5) \cdot I_n$ ,  $(5-10) \cdot I_n$  и  $(10-20) \cdot I_n$  соответственно. В том случае, если условию (2.3) удовлетворяет сразу несколько *типов характеристик мгновенного расцепления*, то в рамках проекта рекомендуется для линий с осветительной нагрузкой использовать выключатель с *типом характеристики мгновенного расцепления*  $B$ , а для розеточных групп — с типом  $C$ . Одновременно с выбором *типа характеристики мгновенного расцепления* проводится предварительный выбор значения *номинального тока*  $I_n$  аппарата с необходимым числом полюсов. Выбор проводится из дискретного ряда значений таким образом, чтобы выполнялись условия (2.4) и (2.5). Обычно данным условиям удовлетворяют сразу несколько *номинальных токов*  $I_n$ , однако в первом приближении приоритет следует отдавать значениям *номинального тока*  $I_n$ , более близким к *длительно допустимому току*  $I_z$  кабеля в защищаемой линии<sup>49</sup>. По результатам выбора *номинального тока*  $I_n$  и *типа характеристики мгновенного расцепления* заполняются строки 5, 6 и 7 столбца с характеристиками аппарата табл. 2.1 стр. 35.

3.2. При условии, что все вышеописанные критерии выполняются, необходимо записать тип автоматического выключателя, например

---

<sup>49</sup> Значения *номинального тока*  $I_n$ , значительно меньшие *длительно допустимого тока*  $I_z$ , создают избыточную защищённость кабеля, которая в некоторых случаях может быть оправданной, но при этом ограничивают установленную мощность нагрузки, подключённой к данной линии.

*S 201 B10 (серия S200, 1 полюс, тип характеристики мгновенного расцепления B, номинальный ток 10 А). При несоблюдении хотя бы одного критерия необходимо повторить выбор, используя другое значение номинального тока и/или тип характеристики мгновенного расцепления в пределах изначально выбранной серии.*

3.3. Габаритные размеры аппарата определяются либо при помощи CAD-файла аппарата, либо по каталогу [1, с. 11/41].



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Алгоритм выбора устройств дифференциальной защиты по техническому каталогу модульного оборудования АВВ [1]

Алгоритм выбора модели модульных устройств дифференциальной защиты структурно разделён на три основные части. На каждом из шагов область поиска постепенно сужается, приводя в конечном счёте к конкретной модели аппарата:

1. Выбор *серии* устройства дифференциальной защиты. Под *серией* понимается совокупность нескольких моделей устройств, имеющих одинаковые предельные технические характеристики, в частности, отключающую способность. В пределах одной *серии* содержатся *модели* с различными номинальными токами, количеством полюсов и *типами характеристик мгновенного расцепления*.

2. Определение технических параметров, характерных для всех устройств выбранной серии, без привязки к конкретной модели аппарата.

3. Выбор конкретной *модели* модульного устройства дифференциальной защиты из выбранной ранее *серии* и определение её технических характеристик.

#### 1 . В ы б о р с е р и и у с т р о й с т в а д и ф ф е р е н ц и а л ь н о й з а щ и т ы

Предварительный выбор *серии* устройств дифференциальной защиты проводится по техническому каталогу модульного оборудования при помощи схемы, приведённой в [1, с. 3/2–3/3], соблюдая следующую последовательность действий:

1.1. Первый столбец схемы «Применение» определяется областью применения НКУ, для которого проводится выбор аппарата. В рамках проекта необходимо выбирать область применения «Промышленные объекты».

1.2 Во втором столбце «Защита» необходимо выбрать набор функций, которым должно обладать устройство дифференциальной защиты: ВДТ — «Защита от косвенного прикосновения», АВДТ — «Перегрузка + короткое замыкание + защита от косвенного прикосновения...».

1.3. Третий столбец «Отключающая способность  $I_{cn}$  при 230/400 В» относится только к АВДТ, так как определяет способность отключать токи короткого замыкания, которой ВДТ не обладает. В этом столбце выбирается необходимое минимальное значение отключающей способности, удовлетворяющее (2.7) (на этом этапе принять  $I_{cn} = I_{cs}$ ). Если условию (2.7) удовлетворяет сразу несколько значений отключающих способностей, то предпочтение следует отдавать наименьшему из них.

1.4. В четвёртом столбце «Номинальный ток» выбирается такое значение максимального *номинального тока*  $I_n$  у аппаратов серии, которое удовлетворяет выражению (2.9).

1.5. Пятый столбец «Примечание» — справочный. В нем приводится стандарт, которому соответствует выбираемый аппарат. Для ВДТ следует выбирать «IEC/EN 61008».

1.6. В шестом столбце «Полюса» проверяется, что *серия* устройств дифференциальной защиты имеет необходимое количество полюсов в соответствии с критерием 2 стр. 37.

1.7. В седьмом и восьмом столбцах приводится *серия* аппаратов, которая удовлетворяет предъявляемым требованиям, и номер страницы каталога, начиная с которой содержатся технические данные *конкретной модели* устройства дифференциальной защиты из данной серии.

## 2 . О п р е д е л е н и е т е х н и ч е с к и х х а р а к т е р и с т и к а п п а р а т о в в ы б р а н н о й с е р и и

Определение общих для всей *серии* технических характеристик проводится по таблицам [1, с. 3/6] для ВДТ, [1, с. 3/34] для АВДТ. Первый столбец таблиц содержит названия нескольких групп параметров. В дальнейшем необходимо работать с группой «Электрические параметры» в соответствии со следующей последовательностью:

2.1. Во втором столбце таблицы в строке «Тип (форма волны обнаруженной утечки на землю)» необходимо выбрать нужный тип устройства дифференциальной защиты для выбранной серии в соответствии с критерием 1 стр. 37. Таким образом, заполняется строка 1 табл. 2.2.

2.2. В строке «Полюса» выбирается необходимое количество полюсов согласно критерию 2 стр. 37. По результатам заполняется строка 2 таблицы 2.2.

2.3. Переходя к строке «Номинальное напряжение  $U_e$ », определяется номинальное рабочее напряжение  $U_e$  аппарата, и заполняется строка 3 табл. 2.2.

2.4. Значение строки «Номинальная частота» должно соответствовать критерию 4 стр. 37. По результатам заполняется строка 4 табл. 2.2.

2.5. Выполняется только для АВДТ. По значению в строке «рабочий ток  $I_{cs}$ » определяется *номинальная рабочая наибольшая отключающая способность*  $I_{cs}$  и оценивается на соответствие критерию 5 стр. 37. Заполняется строка 5 табл. 2.2.

### 3. Выбор конкретной модели аппарата из серии и определение её технических характеристик

Определённые выше характеристики относятся ко всем моделям аппаратов выбранной *серии*. Для выбора конкретной *модели* аппарата из данной *серии* необходимо перейти на страницу каталога, определённую ранее в пп. 1. стр. 90 данного алгоритма. Начиная с этой страницы каталога, приведены конкретные модели устройств дифференциальной защиты из выбранной ранее серии. Окончательный выбор проводится по следующему алгоритму:

3.1. Необходимо найти страницу с заголовком, содержащим название выбранной ранее *серии* и *типа характеристики мгновенного расцепления* (последнее только для АВДТ). В первом приближении рекомендуется выбирать *тип характеристики мгновенного расцепления* *C*, при возникновении необходимости —  $B^{50}$ .

3.2. В табличках на найденной странице в столбце «Кол-во полюсов» необходимо выбрать нужное значение в соответствии с определённым ранее в пп. 2.2. стр. 90 настоящего алгоритма.

3.3. В следующем столбце таблицы «Ном. дифф. ток  $I_{\Delta n}$  мА» выбирается значение *номинального отключающего дифференциального тока*  $I_{\Delta n}$ , удовлетворяющее выражению (2.8). Полученным значением заполняется строка 6 табл. 2.2.

3.4. В столбце «Ном. ток  $I_n$  А» выбирается значение *номинального тока*  $I_n$ , удовлетворяющего выражениям (2.9), (2.10), (2.11). При этом значение диапазона *токов мгновенного расцепления*  $I_i$  для условия (2.11) определяется для *типов характеристики мгновенного расцепления* *B*, *C*, *D* как  $(3-5) \cdot I_n$ ,  $(5-10) \cdot I_n$  и  $(10-20) \cdot I_n$  соответственно. Обычно совокупности данных условий удовлетворяют сразу несколько значений *номинальных токов*  $I_n$ , в этом случае рекомендуется выбирать ток наиболее близким к *длительно допустимому току*  $I_Z$  защищаемого кабеля. В результате заполняются строки 7, 8 и 9 табл. 2.2.

3.5. В результате в столбце «Информация для заказа» определяется конкретная модель аппарата, например:

а) *F202 A-40/0,01* — ВДТ, серия *F200*, 2 полюса исполнения *2P*, тип *A*, номинальный ток  $I_n$  40 А, номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$  10 мА;

б) *DS201 B32 AC30* — АВДТ, серия *DS200*, 2 полюса исполнения *1+N*, тип *характеристики мгновенного расцепления B*, номинальный ток  $I_n$  32 А, тип *AC*, номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$  30 мА.

---

<sup>50</sup> В рамках проекта рекомендуется выбирать устройства дифференциальной защиты общего назначения без наличия специальных характеристик, таких как «*AP-R* – повышенная устойчивость к ложному срабатыванию», «*S* – селективные» и «Для высокочастотного применения».

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Пояснения к определению тока электродинамического отброса контактов

В качестве примера по определению тока самозащиты  $I_{io}$  ниже приведена времятоковая характеристика электронного расцепителя *PR221DS* для автоматических выключателей *T4 320*, *T5 400/630*, *T6 630/800/1000* в соответствии с [7, с. 4/4].

Выделенная на рис. Д.1. часть времятоковой характеристики соответствует зоне электродинамического отброса контактов. В отличие от остальной времятоковой характеристики, выраженной через кратность тока, выделенная часть кривой задана в абсолютных значениях тока. С помощью этой части времятоковой характеристики определяется ток  $I_{io}$ , который будет являться верхней токовой границей действия функции *S*. Если ток повреждения превышает значение  $I_{io}$ , то преднамеренная задержка времени расцепления функции *S* перестаёт действовать из соображений самозащиты автоматического выключателя от термического воздействия тока короткого замыкания. Другими словами, происходит принудительное мгновенное расцепление автоматического выключателя.

Например, согласно рис. Д.1, для автоматического выключателя *T6* с номинальным длительным током  $I_u = 1000$  А ток самозащиты составит  $I_{io} = 10$  кА.

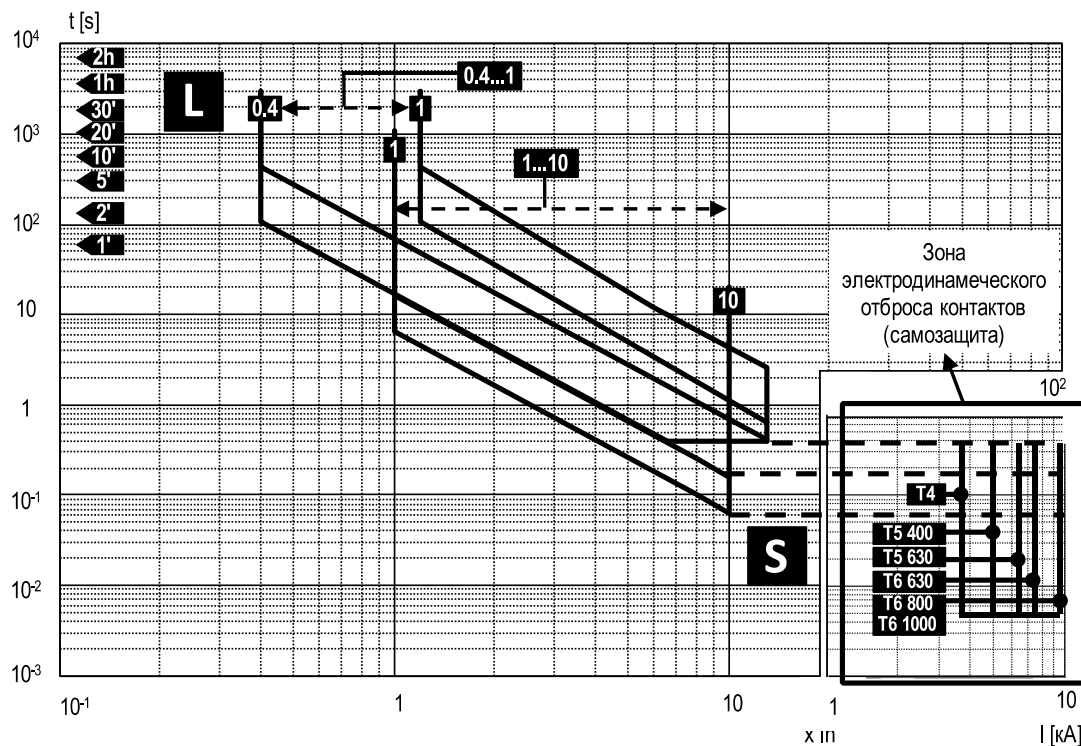


Рис. Д.1. Семейство времятоковых характеристик электронного расцепителя *PR221DS* с функциями *L* и *S* [7, с. 4/4]

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Пояснения к определению предельного тока энергетической селективности

Пример по определению предельного тока энергетической селективности приведён в соответствии с данными табл. 2.9 и 2.10.:

— Автоматический выключатель со стороны нагрузки: *QF11 XT2N 160* (*XT2*, типоразмер 160, исполнение *N*  $\Rightarrow I_{cu.QF11} = 36$  кА); тип расцепителя *EL* (электронный) с номинальным током  $I_n = 63$  А.

— Автоматический выключатель со стороны питания: *QF10 T6N 1000* (*T6*, типоразмер 1000, исполнение *N*  $\Rightarrow I_{cu.QF10} = 36$  кА); тип расцепителя *EL* (электронный) с номинальным током  $I_n = 1000$  А.

Для определения предельного тока энергетической селективности между данной парой аппаратов необходимо воспользоваться таблицей координации [6, с. 142–143] (см. таблицу ниже). На пересечении полученной строки и столбца располагается буква «Т», означающая, что предельный ток энергетической селективности определяется меньшим значением *номинальной предельной наибольшей отключающей способности*  $I_{cu}$  данной пары аппаратов

$$I_s = \min(I_{cu.QF10}; I_{cu.QF11}) = 36 \text{ кА}$$

		Сторона питания		XT4				T4		T5						T6						T7			
		Исполнение		N, S, H, L, V				N, S, H, L, V		N, S, H, L, V						N, S, H, L						S, H, L, V			
		Расцепитель		EL				EL		TM			EL			TM, M		EL				EL			
Сторона нагрузки		Типоразмер	160				250	320	400		630		400	630	630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600		
			$I_n$ [A]	40	63	100	160	250	320	320	400	500	320	400	630	630	800	630	800	1000	800	1000	1250	1600	
XT2	N	TM	160	1,6-2,5	85	85	85	85	85	85	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
				3,2	85	85	85	85	85	85	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				4-5	85	85	85	85	85	85	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				6,3	85	85	85	85	85	85	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				8	85	85	85	85	85	85	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				10	85	85	85	85	85	85	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				12,5	85	85	85	85	85	85	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				16			70	70	70	70	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				20			55	55	55	55	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				25			50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				32			50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				40			50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				50			50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				63			50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				80			50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				100				50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				125				50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				160					50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
	EL	160	10	50	50	50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T		
			25		50	50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T			
			63				50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T				
			100					50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T				
			160					50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T				

$T$  — предельный ток энергетической селективности определяется меньшим значением  $I_{cu}$  данной пары автоматических выключателей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Пояснения к построению времятоковой характеристики электронного расцепителя

В качестве примера рассмотрен автоматический выключатель *XT2N* с электронным расцепителем *Ekip LS/I*.

В общем случае значения уставок электронного расцепителя должны быть выбраны в соответствии с необходимыми критериями для аппарата. Доступные настройки расцепителей *Ekip LS/I* представлены в [5, с. 2/8] (см. рис. Ж.1). Эту таблицу можно интерпретировать следующим образом:

— Функция *L*. Ток  $I_1$  регулируется относительно номинального тока расцепителя  $I_n$ . При этом номинальный ток расцепителя  $I_n$  может быть выбран меньшим, чем номинальный длительный ток  $I_u$  автоматического выключателя. Доступные варианты номинальных токов расцепителей представлены в [5, с. 2/4]. Диапазон регулирования кратностей относительно номинального тока от 0,4 до 1 с шагом 0,04. Время  $t_1$  определяется при трёхкратном значении уставки  $I_1$  и может быть установлено на значение 12 с либо 36 с.

— Функция *S*. Уставка  $I_2$  выбирается из заданного дискретного ряда кратностей (1...10) по отношению к номинальному току расцепителя  $I_n$ . Уставка  $t_2$  может быть установлена на значение 0,1 с либо 0,2 с.

— Функция *I*. По условию обеспечения энергетической селективности должна быть отключена. Так как тип расцепителя *LS/I* имеет взаимоисключающие функции *S* и *I*, то при включении функции *S* функция *I* отключается автоматически.

Пример построения времятоковой характеристики по данным табл. 2.9 представлен на рис. Ж.2.

#### **Ekip LS/I**

Функция защиты	Порог срабатывания	Кривая срабатывания <sup>(1)</sup>
<b>L</b> От перегрузок с обратнозависимой длительной задержкой срабатывания согласно стандарту IEC 60947-2	Ручная настройка: $I_1 = 0,4...1 \times I_n$ шаг 0,04 Точность: срабатывание между 1,05...1,3 $I_1$ (IEC 60947-2)	Ручная настройка: $t_1 = 12-36$ с при $I = 3 \times I_1$ Точность: $\pm 10\%$ при $I \leq 4I_n$ $\pm 20\%$ при $I > 4I_n$
<b>S</b> От коротких замыканий с независимой задержкой по времени ( $t=k$ )	Ручная настройка: $I_2 = 1-1,5-2-2,5-3-3,5-4,5-5,5-6,5-7-7,5-8-8,5-9-10 \times I_n$ Точность: $\pm 10\%$	$t_2 = 0,1-0,2$ с Точность: $\pm 15\%$
<b>I</b> От короткого замыкания с регулируемым порогом и мгновенным срабатыванием	Ручная настройка: $I_3 = 1-1,5-2-2,5-3-3,5-4,5-5,5-6,5-7-7,5-8-8,5-9-10 \times I_n$ Точность: $\pm 10\%$	$\leq 20$ мс

<sup>(1)</sup>Точность приведена для следующих условий:

- автономное питание расцепителя защиты при полной мощности;
- двух- или трёхфазное питание.

Точность срабатывания для условий, отличающихся от рассмотренных выше:

Функция защиты	Порог срабатывания	Время срабатывания
L	срабатывание между 1,05 и $1,3 \times I_1$	$\pm 20\%$
S	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
I	$\pm 15\%$	$\leq 60$ мс

**Рис. Ж.1. Доступные настройки расцепителя *Ekip LS/I* [5, с. 2/8]**

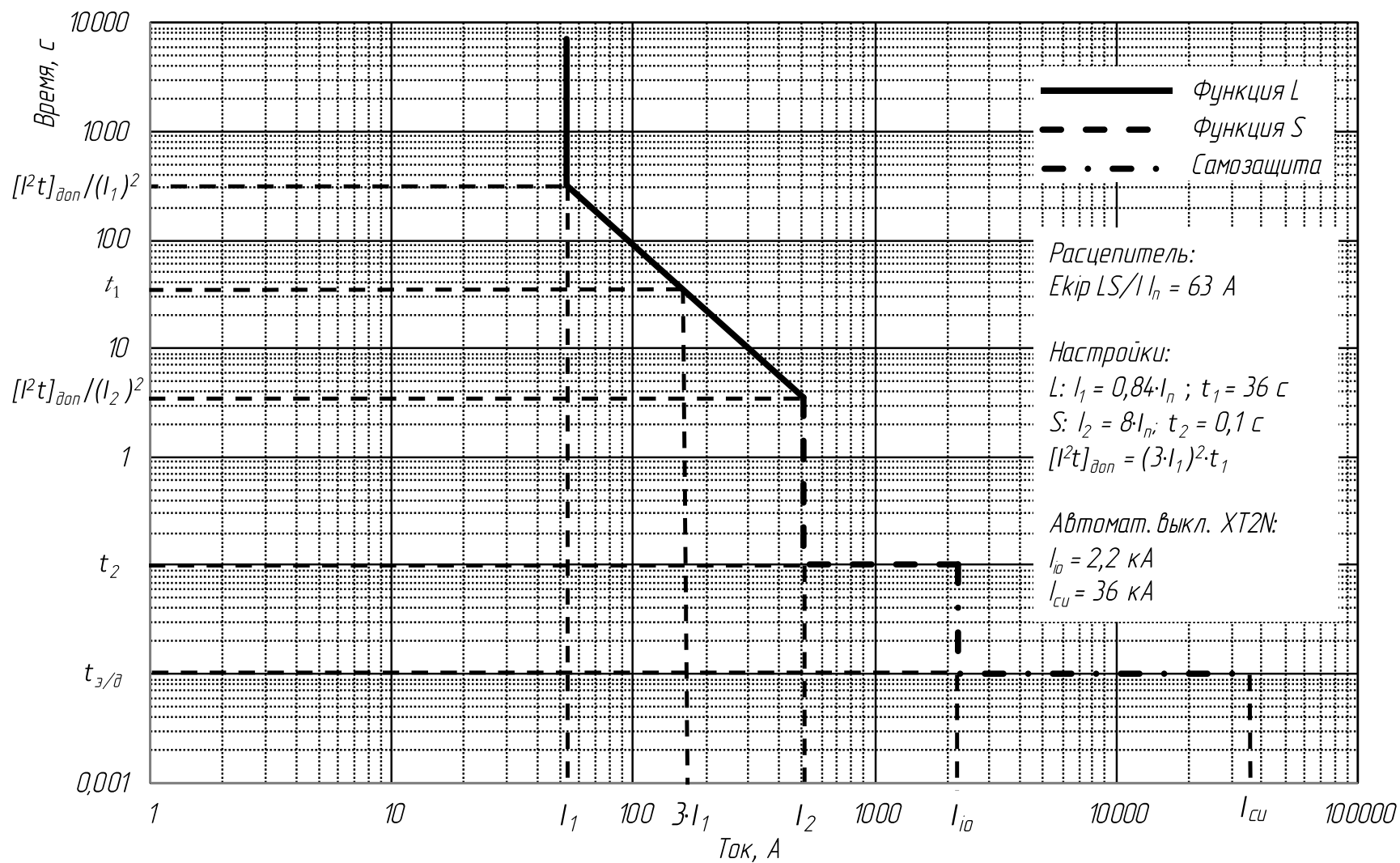
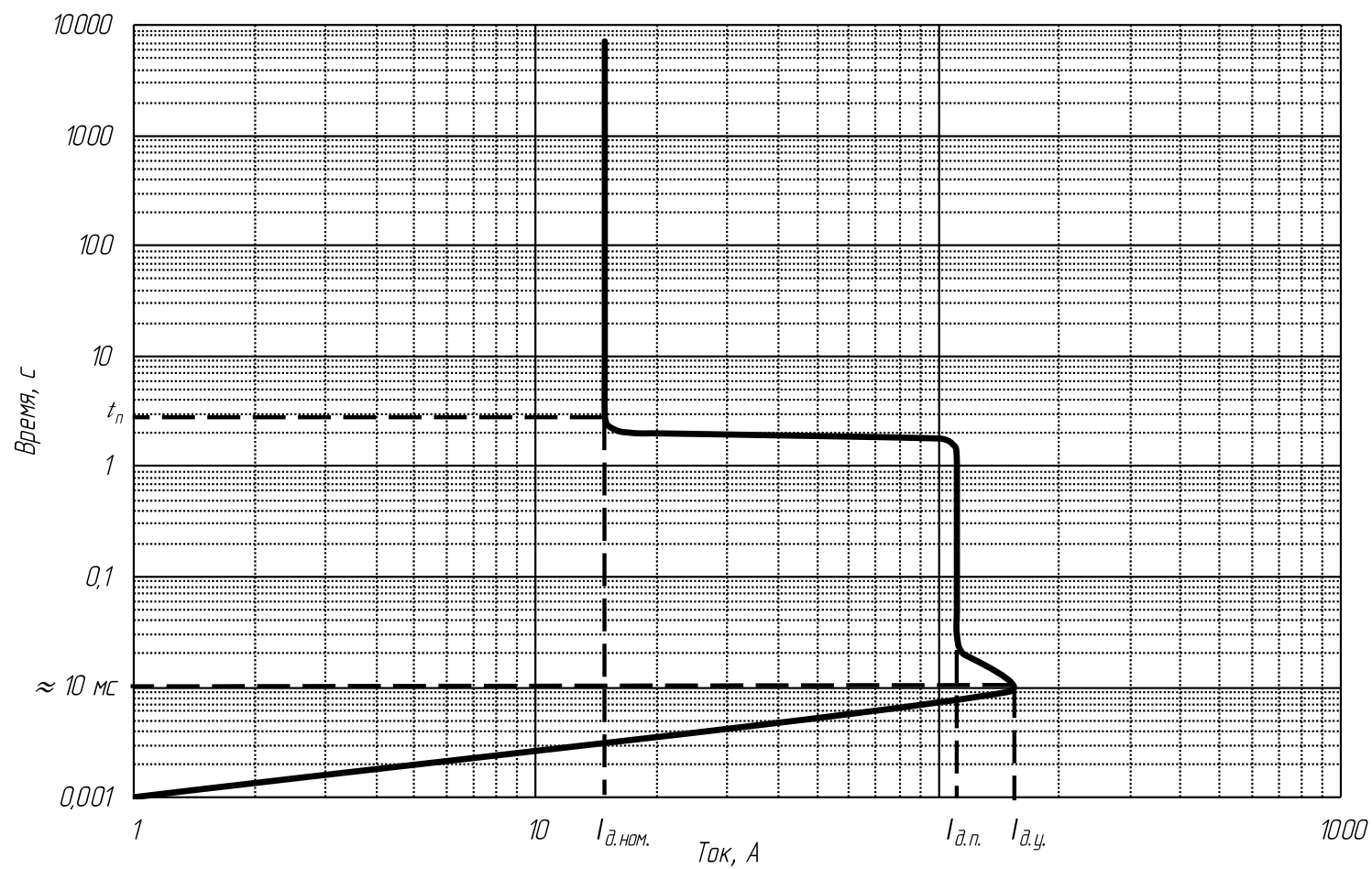


Рис. Ж.2. Времятоковая характеристика автоматического выключателя XT2N с расцепителем  $Ekip\ LS / I_n = 63$



## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### Пояснения к построению пусковой характеристики электродвигателя



# ПРИЛОЖЕНИЕ К

## Лист проверки части 1. Предварительные расчёты

Вариант №

(№ по журналу + № группы)

Группа

Фамилия Имя

Параметры трансформатора				Расчётные токи электродвигателя			Расчётные токи кабелей			Площади поперечных сечений жил кабелей			
$I_{\text{HH.ном}},$ А	$Z_{\text{T}},$ МОм	$r_{\text{T}},$ МОм	$x_{\text{T}},$ МОм	$I_{\text{д.ном}},$ А	$I_{\text{д.п}},$ А	$I_{\text{д.у}},$ А	$I_{\text{В1}},$ А	$I_{\text{В3}},$ А	$I_{\text{В6}},$ А	$s_{\text{к1}},$ мм <sup>2</sup>	$s_{\text{к2}},$ мм <sup>2</sup>	$s_{\text{к3}},$ мм <sup>2</sup>	$s_{\text{к6}},$ мм <sup>2</sup>

Сопротивления кабелей								Падение напряжения			
$r_{\text{к1}},$ МОм	$x_{\text{к1}},$ МОм	$r_{\text{к2}},$ МОм	$x_{\text{к2}},$ МОм	$r_{\text{к3}},$ МОм	$x_{\text{к3}},$ МОм	$r_{\text{к6}},$ МОм	$x_{\text{к6}},$ МОм	$\Delta u_2,$ %	$\Delta u_3,$ %	$\Delta u_4,$ %	$\Delta u_2^{\text{п}},$ %

Сопротивления цепи							
До точки 1		До точки 2		До точки 3		До точки 4	
$r_{\Sigma 1},$ МОм	$x_{\Sigma 1},$ МОм	$r_{\Sigma 2},$ МОм	$x_{\Sigma 2},$ МОм	$r_{\Sigma 3},$ МОм	$x_{\Sigma 3},$ МОм	$r_{\Sigma 4},$ МОм	$x_{\Sigma 4},$ МОм

Токи короткого замыкания						
Точка 0	Точка 1		Точка 2		Точка 3	Точка 4
$I_{\text{К30}}^{(3)},$ кА	$I_{\text{К31}}^{(3)},$ кА	$I_{\text{К31}}^{(1)},$ кА	$I_{\text{К32}}^{(3)},$ кА	$I_{\text{К32}}^{(1)},$ кА	$I_{\text{К33}}^{(1)},$ кА	$I_{\text{К34}}^{(1)},$ кА

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

### Лист проверки части 2. Выбор электрических аппаратов защиты и управления

Вариант № \_\_\_\_\_

(№ по журналу + № группы)

Группа \_\_\_\_\_

Фамилия Имя \_\_\_\_\_

Линия КБ3		Линия КБ6
<i>QF2</i> или <i>FD1</i> *	<i>FD2</i> **	<i>FD1</i> или <i>FD4</i> *

Линия КБ2		
<i>QF1</i>	<i>KM1</i>	<i>KK1</i>

Линия КБ1			Линия с трансформатором	
<i>QS1</i>	<i>QF11</i>	Расцепитель <i>QF11</i>	<i>QF10</i>	Расцепитель <i>QF10</i>

\* Нужный аппарат выбирается в зависимости от варианта задания

\*\* В случае, если в соответствии с заданием аппарат *FD2* в линии КБ3 отсутствует, в ячейке ставится прочерк «—».

## ПРИЛОЖЕНИЕ М

### Чек-лист для самопроверки части 3. Чертёж общего вида НКУ

1.	Все аппараты на чертеже соответствуют выбранным в РПЗ.	<input type="checkbox"/>
2.	Все линии чертежа 100 % чёрные и имеют достаточную толщину. Всего на чертеже применяется не более двух толщин линий (толстая и тонкая).	<input type="checkbox"/>
3.	Указаны габаритные размеры шкафа.	<input type="checkbox"/>
4.	При наличии болта заземления указан его установочный размер.	<input type="checkbox"/>
5.	Корректно показан местный разрез у болта или шпильки заземления.	<input type="checkbox"/>
6.	Цепь управления собрана в соответствии с заданием. Все соединения в ней понятны и легко различимы.	<input type="checkbox"/>
7.	Подписаны контакты теплового реле и вспомогательные контакты контактора, и их расположение соответствует реальному.	<input type="checkbox"/>
8.	Соединительные провода внутри НКУ расположены чётко по центру тех клемм, к которым они подключаются.	<input type="checkbox"/>
9.	Проставлены позиции ко всем элементам чертежа, кроме повторяющихся.	<input type="checkbox"/>
10.	На чертеже имеется таблица с позициями и их расшифровкой, включающей буквенно-цифровое обозначение аппарата в соответствии с однолинейной схемой и его модель.	<input type="checkbox"/>
11.	Шрифты соответствуют ГОСТ, и все надписи чётко различимы.	<input type="checkbox"/>
12.	В основной надписи указана Ваша фамилия и фамилия ведущего КП преподавателя, указана Ваша учебная группа, название чертежа, корректно указан масштаб. Размеры основной надписи соответствуют ГОСТ.	<input type="checkbox"/>

		вар.	
Учебная группа	Фамилия Имя	№ варианта	Подпись

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *System pro M compact®* и другие модульные устройства. Технический каталог. — ABB. — 2016. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Modular\\_DIN-Rail\\_products](http://bit.ly/ABB_Modular_DIN-Rail_products) (дата обращения 27.05.2019).
2. Оборудование для управления и защиты электродвигателей. Технический каталог. — ABB. — 2017. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Motor\\_protection\\_and\\_control](http://bit.ly/ABB_Motor_protection_and_control) (дата обращения 27.05.2019).
3. Светосигнальная аппаратура. Технический каталог. — ABB. — 2018 — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Pilot\\_devices](http://bit.ly/ABB_Pilot_devices) (дата обращения 27.05.2019).
4. Выключатели нагрузки до 4000 А. Технический каталог. — ABB. — 2016. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Switch-disconnectors](http://bit.ly/ABB_Switch-disconnectors) (дата обращения 27.05.2019).
5. *Tmax XT*. Низковольтные автоматические выключатели на номинальный ток до 250 А. Технический каталог. — ABB. — 2017. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Tmax\\_XT](http://bit.ly/ABB_Tmax_XT) (дата обращения 27.05.2019).
6. Оборудование для автоматизации. Справочник по электрооборудованию. Устройства защиты и управления. — ABB. — 2014. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Electrical\\_installation\\_handbook](http://bit.ly/ABB_Electrical_installation_handbook) (дата обращения 27.05.2019).
7. *Tmax*. Низковольтные автоматические выключатели на номинальный ток до 1600 А. Технический каталог. — ABB. — 2016. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Tmax](http://bit.ly/ABB_Tmax) (дата обращения 27.05.2019).
8. Клеммные соединения. Технический каталог. — ABB. — 2016. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Terminal\\_blocks](http://bit.ly/ABB_Terminal_blocks) (дата обращения 27.05.2019).
9. Шкафы для средств автоматизации. Технический каталог. — ABB. — 2018. — URL: [http://bit.ly/ABB\\_Enclosures](http://bit.ly/ABB_Enclosures) (дата обращения 27.05.2019).

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические и электронные аппараты : учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. П. А. Курбатова. — М. : Издательство Юрайт, 2016. 410 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс. — ISBN 978-5-9916-5890-4.
2. Основы электротехники: учебник для студентов средних и высших учебных заведений профессионального образования по направлениям электротехники и электроэнергетики / П.А. Бутырин, О.В. Толчеев, Ф.Н. Шакирзянов; под ред. П.А. Бутырина. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. — 360 с.: ил. — ISBN 978-5-383-00857-7.

*Учебное издание*

**Молоканов Олег Николаевич**  
**Кузнецова Екатерина Александровна**

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Учебное пособие

Редактор  
Компьютерная вёрстка

---

Подписано в печать	00.00.2020	Печать офсетная	Формат 60×84/16
Печ. л. 6,25	Тираж 173 экз.	Изд. №19у-066	Заказ №

---

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14.  
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 13