

ПОСОБИЕ К ГЛАВЕ 3.1 ПУЭ

«ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ»

Главный инженер института
Начальник технического отдела
Ответственный исполнитель

А. Г. Смирнов
Л. Б. Годгельф
В. Т. Шилин

МОСКВА 1991

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе даны комментарии к тем параграфам главы, которые требуют углубленного понимания и по которым наиболее часто в адрес института поступают вопросы.

Кроме комментариев, в работе даются примеры выбора аппаратов защиты и сечения проводников защищаемых линий в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ). Даны также удельные рекомендации, основанные на опыте работы института.

Для удобства обращения с работой перед комментарием к параграфу в кавычках приводится его полный текст.

Таблицы и рисунки, на которые делаются ссылки в тексте, даны в конце работы. С таблицами 1 и 2, где приводятся основные параметры автоматических выключателей и предохранителей, а также источники информации, рекомендуется ознакомиться в самом начале, перед чтением работы.

Схема электрической сети на рис. 1 служит только для пояснения примеров выбора аппаратов защиты и дана в упрощенном виде. Той же цели служат и ориентировочные значения токов короткого замыкания, вторые приводятся в работе.

Работой можно будет пользоваться и после выпуска следующего (7-го) издания ПУЭ, т.к. методика выбора защиты электрических сетей остается прежней.

В комментариях к действующей редакции, как правило, говорится о тех изменениях, которые вошли в проект главы 3.1, подготовленной для 7-го издания.

Нумерация параграфов в работе дана по ПУЭ 6-го издания.

2. К ПАРАГРАФУ 3.1.3

«Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка электрической сети (см. также гл. 1.4).

Допускается установка аппаратов защиты, нестойких к максимальным значениям тока КЗ, а также выбранных по значению одноразовой предельной коммутационной способности если защищающий их групповой аппарат или ближайший аппарат, расположенный по направлению к источнику питания, обеспечивает мгновенное отключение тока КЗ, для чего необходимо, чтобы ток уставки мгновенно действующего расцепителя (отсечки) указанных аппаратов был меньше тока одноразовой коммутационной способности каждого из группы нестойких аппаратов, и если такое неселективное отключение всей группы аппаратов не грозит аварией, порчей дорогостоящего оборудования и материалов или расстройством сложного технологического процесса».

Покажем выполнение требований параграфа на примере выбора аппаратов защиты для схемы электрической сети на рис. 1, где указаны максимальные значения токов короткого замыкания (ТКЗ) в характерных точках, расчетные нагрузки линий и сечения проводников, выбранные по этим нагрузкам.

2.1. В качестве автоматических выключателей А и А1 выбираем по нагрузке линий выключатели типов ВА55-43-35 и ВА55-39-35 соответственно (см. табл. 1). Выключатели в зоне токов короткого замыкания действуют с выдержкой времени, обеспечивая необходимую селективность защиты.

Эти автоматические выключатели удовлетворяют требованию первого абзаца § 3.1.3, т.к. токи КЗ в начале защищаемого участка электрической сети (26 и 24 кА) меньше предельной коммутационной способности выключателей (80 и 47,5 кА).

В качестве автоматического выключателя А2 аналогичным образом выбираем стойкий к ТКЗ 20 кА (см. точку К₂ на рис. 1) выключатель ВА52-35-34: предельная коммутационная способность выключателя равна 40 кА. В зоне ТКЗ выключатель работает без выдержки времени, обеспечивая максимальное быстродействие защиты.

2.2. В качестве автоматического выключателя А11 по нагрузке выбираем выключатель ВА13-29-33 с

номинальным током расцепителя 50 А. Предельная коммутационная способность этого выключателя (12 кА) меньше максимального значения тока КЗ в начале защищаемого участка электрической сети (21 кА). Следовательно, этот выключатель не удовлетворяет требованию первого абзаца § 3.1.3, т.к. является нестойким к максимальному значению тока короткого замыкания.

В соответствии со вторым абзацем § 3.1.3 установка аппаратов защиты, нестойких к максимальным значениям тока КЗ, допускается. Но в этом случае одним из условий является обеспечение мгновенного отключения тока КЗ ближайшим по направлению к источнику питания автоматическим выключателем. В нашем же примере ближайший по направлению к источнику питания выключатель А действует в зоне токов короткого замыкания с выдержкой времени.

Поэтому в качестве выключателя А11 мы вынуждены выбрать для линии с расчетным током 50 А автоматический выключатель на номинальный ток 250 А, стойкий к максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка. Выключатель ВА52-35-34 на номинальный ток 250 А (см. табл. 1) имеет предельную коммутационную способность 40 кА и может быть заказан с расцепителем на номинальный ток 80 А.

Таким образом, выполнение требования к стойкости аппаратов защиты привело, в нашем примере, к увеличению габарита автоматического выключателя и загромождению чувствительности защиты, поскольку номинальный ток расцепителя выбранного выключателя (80 А) намного

больше длительно допустимого тока кабеля (55 А), выбранного по расчетной нагрузке линии. В таких случаях чувствительность защиты на соответствие требованиям § 3.1.8 необходимо проверять расчетом (см. 6.3.3).

2.3. В качестве автоматического выключателя А21 выбираем по нагрузке выключатель ВА13-29-33 с номинальным током расцепителя 31,5 А. Предельная коммутационная способность этого выключателя 12 кА. Ток КЗ в начале линии равен 13 кА. Автоматический выключатель не удовлетворяет требованию первого абзаца § 3.1.3.

Ближайший по направлению к источнику питания автоматический выключатель А1 имеет отсечку с выдержкой времени и, следовательно, (как и в случае, рассмотренном нами в п. 2.2) не может выполнять функции защищающего аппарата по отношению к нестойкому выключателю А21. Поэтому для защиты линии с автоматическим выключателем А21 выбираем стойкий к максимальному току КЗ 13 кА (см. точку К₂₁ на рис. 1) выключатель с номинальным током 250 А ВА51-35-34: предельная коммутационная способность этого выключателя равна 15 кА. Выключатель не имеет расцепителя, который соответствовал бы расчетному току защищаемой линии (30 А), поэтому выбираем наименьший из возможных расцепителей: с номинальным током 80 А.

Как уже отмечалось в п. 2.2, для этой линии чувствительность защиты к минимальному току КЗ необходимо проверить расчетом (см. п. 6.3.4).

2.4. В качестве автоматического выключателя А31 выбран по номинальному току электродвигателя выключатель ВА51Г31-34. Он является стойким к максимальному значению тока КЗ, т.к. его предельная коммутационная способность (10 кА) совпадает со значением максимального тока КЗ в начале защищаемого ответвления.

2.5. Автоматические выключатели А32, А33 и А34 (см. табл. 3), выбранные по расчетной нагрузке ответвлений, являются нестойкими к ТКЗ, т.к. их предельная коммутационная способность меньше, чем ток короткого замыкания непосредственно за выключателем.

В соответствии с § 3.1.3 установка нестойких аппаратов защиты является допустимой, если выполняются три условия:

во-первых, неселективная работа защиты, которая неизбежна при установке неустойчивых выключателей, не должна грозить аварией, порчей дорогостоящего оборудования и т.д.;

во-вторых, защищающий автоматический выключатель должен быть стойким к максимальному току КЗ за защищаемым выключателем и должен иметь отсечку без выдержки времени;

в-третьих, ток уставки отсечки защищающего выключателя должен быть меньше тока однократной предельной коммутационной способности защищаемого выключателя.

В нашем примере эти условия выполняются:

неселективное отключение всех электроприемников, получающих питание по линии с автоматическим выключателем А2, не грозит аварией, расстройством сложного технологического процесса и т.п.;

автоматический выключатель А2 (защищающий) является стойким к максимальным значениям ТКЗ за выключателями А32, А33, А34, т.к. отключающая способность (40 кА) больше максимальных значений токов КЗ за защищаемыми выключателями (8 кА, 7 кА, 7 кА). Отсечка выключателя действует без выдержки времени;

ток уставки отсечки выключателя А2, равный 2,4 кА (200 А×12), меньше тока однократной предельной коммутационной способности каждого из защищаемых выключателей (12 кА, 5 кА, 5 кА).

Таким образом, автоматические выключатели А32, А33, и А34, выбранные по расчетной нагрузке, не требуется заменять на выключатели, стойкие к токам короткого замыкания.

Проверка на стойкость к максимальным токам КЗ предохранителей делается при рассмотрении следующего параграфа. (См. п. 3.2).

3. К ПАРАГРАФУ 3.1.4

«Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок автоматических выключателей, служащих для защиты отдельных участков сети, во всех случаях следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам электроприемников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках (пусковые токи, пики технологических нагрузок, токи при самозапуске и т.п.)».

В этом параграфе сформулированы два требования, первое из которых направлено на обеспечение максимальной чувствительности защиты, а второе на обеспечение работы электроустановок без ложных отключений. Очевидно, что эти требования в ряде случаев могут вступать в противоречие, и поэтому при выборе аппаратов защиты нужно

меть в виду и то, и другое требование одновременно: отстройку от ложных срабатываний следует делать с минимальным запасом, чтобы неоправданно не загрубливать чувствительность защиты.

Такую задачу приходится, например, решать при защите ответвлений к короткозамкнутым асинхронным электродвигателям.

3.1. Проверим уставки автоматических выключателей А2, А31-А34 (рис. 1) на соответствие требованиям § 3.1.4. Тип выбранных выключателей и основные их параметры приводятся в табл. 3.

3.1.1. Номинальные токи асинхронных короткозамкнутых электродвигателей Д31 и Д34 равны соответственно 95 и 14 А, кратность пускового тока для обоих электродвигателей равна 7. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей А31 и А34 100 и 16 А выбраны по номинальным токам электродвигателей и являются наименьшими из возможных с учетом ступенчатой шкалы номинальных токов расцепителей. Кратность отсечки у выбранных выключателей равна 14, 7-кратный пусковой ток электродвигателей не приводит к ложным срабатываниям защиты.

С точки зрения повышения чувствительности защиты всегда желательна небольшая кратность отсечки. Но следует иметь в виду, что пусковой ток электродвигателя (в соответствии с ГОСТ 183-74*) может отклониться от каталожного значения на 20 % в плюс, а ток срабатывания отсечки в соответствии с допуском на точность срабатывания (см. примечание 2 к табл. 1) может отклониться от уставки на 20 % в минус. Тогда, например, для выключателя с 10-кратной отсечкой, ток срабатывания становится 8-кратным, а кратность пускового тока электродвигателя увеличивается с 7 до 8,4. Для линии с выключателем А31, в этом случае, пусковой ток будет равен 798 А ($95 \times 8,4$), а ток срабатывания отсечки 800 А.

В этом примере пусковой ток электродвигателя и ток срабатывания отсечки оказались практически равными, и вероятность ложного срабатывания защиты при пуске электродвигателя достаточно высока. На вопрос, как поступить, не всегда можно найти конкретный ответ в нормативном документе, и конкретное значение должен принимать инженер, руководствуясь общими требованиями ПУЭ.

Как правило, неблагоприятное совпадение допусков на пусковой ток и ток срабатывания отсечки учитывать не нужно. Но для ответственных электроприемников (например, пожарных насосов) отстройку от ложных срабатываний защиты нужно производить с учетом именно такого совпадения.

Рекомендации по учету аperiodической составляющей пускового тока асинхронных электродвигателей даны в «Инструктивных указаниях по проектированию электротехнических промышленных установок» ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, № 4 за 1977 год.

3.1.2. На линиях с автоматическими выключателями А32 и А33 номинальный ток расцепителей точно совпадает с расчетным током нагрузки. Это идеальный случай.

Принимая во внимание, что в сетях общего назначения без асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором пики нагрузки, как правило, не превышают двойного значения расчетного тока, заказываем автоматические выключатели с минимальными значениями кратности отсечки: для выключателя А32 кратность отсечки 3, для выключателя А33 кратность отсечки 7.

3.1.3. Расчетный ток линии с автоматическим выключателем А2 равен 180 А. Номинальный ток расцепителя 200 А (ближайшее большее значение по шкале расцепителей). Кратность отсечки равна 12. Ток срабатывания отсечки 2400 А (200×12).

Максимальный пик тока в линии имеет место при наложении на расчетный ток пускового тока электродвигателя Д31, наибольшего из электродвигателей, получающих питание по этой линии:

$$180 \text{ А} + (95 \text{ А} \times 7) = 845 \text{ А}$$

При таких пиках тока для обеспечения максимальной чувствительности защиты при условии отстройки от ложных срабатываний достаточно было бы иметь кратность отсечки, равную 7. Но выключателей с номинальным током 200 А и кратностью отсечки меньше, чем 12, в табл. 1 нет.

3.2. Рассмотрим теперь выбор предохранителей для тех же линий. Для удобства изложения будем называть линии по номерам выключателей на рис. 1.

3.2.1. Для линий со спокойной нагрузкой (32, 33) плавкие вставки предохранителей могут быть выбраны по расчетному току линий: для линии 32 предохранитель ПН2-100 с плавкой вставкой 50 А, для линии 33 предохранитель ПРС-25 с плавкой вставкой 25 А (см. табл. 2). Отметим, что выбранные предохранители являются стойкими к максимальным токам КЗ, т.к. их наибольшая отключающая способность (100 и 30 кА) больше максимальных значений токов КЗ в начале защищаемого участка электрической сети (8 и 7 кА).

3.2.2. Выбор предохранителей на линиях с электродвигателями для отстройки защиты от пусковых токов выполняем в соответствии с требованиями § 5.3.56 ПУЭ.

Для линии 34 с легкими условиями пуска электродвигателя отношение пускового тока к номинальному току плавкой вставки должно быть не более 2,5.

Таким образом, номинальный ток плавкой вставки

$$I_{\text{ест}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5} = \frac{14 \times 7}{2,5} = 39,2 \text{ А}$$

По табл. 2 выбираем предохранитель НПН2-60 с плавкой вставкой 40 А. Наибольшая отключающая способность предохранителя 10 кА, наибольший ток КЗ в начале линии 7 кА. Следовательно, выбранный предохранитель является стойким к максимальным значениям тока КЗ.

3.2.3. Для линии 31 с тяжелыми условиями пуска электродвигателя отношение пускового тока к номинальному

току плавкой вставки должно быть не более 2,0-1,6 в зависимости от конкретных условий.

Рассмотрим наиболее тяжелый случай пуска, когда это отношение не должно превышать значения 1,6, т.е. когда

$$I_{\text{вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{1,6} = \frac{95 \times 7}{1,6} = 416 \text{ А}$$

По табл. 2 выбираем предохранитель ПН2-600 с плавкой вставкой 500 А. Наибольшая отключающая способность предохранителя 25 кА, наибольший ток КЗ в начале линии 10 кА.

3.2.4. При выборе предохранителей для линии 2 нужно учитывать наложение на расчетный ток линии пускового тока электродвигателя Д31 с тяжелыми условиями пуска. Следовательно:

$$I_{\text{вст}} \geq \frac{180 + 95 \times 7}{1,6} = 528 \text{ А}$$

По табл. 2 выбираем предохранитель ПН2-600 с плавкой вставкой 630 А. Наибольшая отключающая способность предохранителя 25 кА, наибольший ток КЗ в начале линии 20 кА.

3.3. Для наглядного сравнения защит, выполненных с помощью предохранителей и автоматических выключателей, основные параметры выбранных аппаратов защиты сведены в табл. 4.

Как видно из таблицы, номинальные токи плавких вставок предохранителей из-за необходимости отстраиваться от пусковых токов на линиях 2, 31, 34 пришлось значительно завысить по сравнению с номинальными токами расцепителей автоматических выключателей.

3.4. Необходимо отметить, что на практике уставки аппаратов защиты чаще всего связываются с сечением защищаемой линии. При этом исходят из того, что сечение линии выбирается по нагрузке. На самом же деле, сечение линии в ряде случаев может быть выбрано по каким-то другим условиям или соображениям. Например, сечение длинной линии может быть увеличено по потере напряжения. Для малых нагрузок (6-10 А) сечение определяется условиями механической прочности проводов и кабелей и, в силу этого, оказывается завышенным. Таким образом, если выбирать уставки аппаратов защиты по длительно допустимому току проводников, то в обоих приведенных здесь случаях чувствительность защиты будет необоснованно загрублена.

Поэтому уставки аппаратов защиты следует выбирать по электрической нагрузке, руководствуясь положениями параграфа 3.1.4.

4. К ПАРАГРАФУ 3.1.5

«В качестве аппаратов защиты должны применяться автоматические выключатели или предохранители. Для обеспечения требований быстродействия, чувствительности или селективности допускается при необходимости применение устройств защиты с использованием выносных реле (реле косвенного действия).»

4.1. В параграфе названы аппараты, которые могут применяться для защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ.

В случае использования реле косвенного действия последние должны воздействовать на независимый расцепитель автоматического выключателя.

4.2. Институт не рекомендует применять предохранители в тех случаях, когда при эксплуатации могут систематически возникать затруднения с приобретением запасных калиброванных плавких вставок (например, в сельских и т.п. электроустановках), а также при недостаточно высоком уровне эксплуатации.

5. К ПАРАГРАФУ 3.1.8

«Электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности.

Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазных - в сетях с глухозаземленной нейтралью; двух- и трехфазных - в сетях с изолированной нейтралью.

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

5.1. Защиту от токов короткого замыкания должны иметь все метрические сети.

5.2. Чувствительность защиты к токам короткого замыкания в конце защищаемой линии должна быть не ниже оговоренной в этом параграфе путем ссылок на § 1.7.79 и (для взрывоопасных зон) на § 7.3.139.

При этом следует иметь в виду, что если требования § 1.7.79 и 7.3.139 относятся к чувствительности защиты при однофазном коротком замыкании, то в § 3.1.8 те же требования предъявляются к чувствительности защиты при наименьшем расчетном токе КЗ, который может результатом и междуфазного КЗ (например, в сетях с изолированной нейтралью).

5.3. Если требования § 3.1.8 к чувствительности защиты проверены расчетом и выполняются, то соблюдения кратностей, оговоренных в § 3.1.9, не требуется.

6. К ПАРАГРАФУ 3.1.9

«В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки согласно 3.1.10), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, допускается не выполнять расчетной

проверки, приведенной в 1.7.79 и 7.3.139 кратности тока КЗ, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

300 % для номинального тока плавкой вставки предохранителя;

450 % для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);

100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);

125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка; то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

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

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

Примечание. Институт не рекомендует использовать допущения § 3.1.9 для всех классов взрывоопасных зон.

В соответствии с новой редакцией главы 7.3, подготовленной для 7-го издания [ПУЭ](#), электрические сети во взрывоопасных зонах всех классов должны защищаться от перегрузки, а действие § 3.1.9 распространяется на сети, защищаемые только от токов КЗ. Таким образом, в соответствии с новой редакцией [ПУЭ](#) для электрических сетей во взрывоопасных зонах всегда должна выполняться расчетная проверка кратности тока КЗ на соответствие требованиям § 3.1.8.

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

Поэтому, если эти кратности (с учетом допущений § 3.1.13) обеспечиваются для сечения проводника, выбранного по расчетному току, делать проверку кратности тока КЗ не обязательно.

Если же оговоренные в § 3.1.9 кратности могут быть обеспечены только за счет увеличения сечения проводника, необходимо выполнять расчетную проверку для сечения, выбранного по расчетному току. Если проверка покажет, что кратность тока КЗ удовлетворяет требованиям § 3.1.8, увеличивать сечение проводника не нужно.

Рассмотрим эти положения применительно к схеме на рис. 1 для случая, когда электрические сети требуют защиту только от токов короткого замыкания.

6.1. Первое значение кратности оговаривается в § 3.1.9 для номинального тока плавкой вставки предохранителя: не более 300 %.

6.1.1. Для линий 2, 31-34 (см., табл. 4) кратности номинальных токов плавких вставок по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников (К) равны соответственно:

$$K_2 = \frac{630 \times 100}{184} = 342 \%$$

$$K_{31} = \frac{500 \times 100}{110} = 455 \%$$

$$K_{32} = \frac{50 \times 100}{60} = 83 \%$$

$$K_{33} = \frac{25 \times 100}{27} = 93 \%$$

$$K_{34} = \frac{40 \times 100}{19} = 211 \%$$

Из этих расчетов следует, что для линий 32, 33, 34 проверку соответствие требованиям § 3.1.8 можно не делать, т. к. номинальные токи плавких вставок предохранителей по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников на этих линиях имеют кратность не более 300 %.

Для линий 2 и 31 учтем допущение параграфа 3.1.13 (текст параграфа см. п. 11).

6.1.2. Требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника для линии 2 равна 210 А (630:3). Длительно допустимые токи для четырехжильных кабелей сечением 120 и 150 мм² равны соответственно 184 и 216 А (см. табл. 5). Таким образом, четырехжильный кабель сечением 120 мм², выбранный для линии 2 по расчетной нагрузке, является, в соответствии с § 3.1.13, проводником ближайшего меньшего сечения, и расчетную проверку на соответствие требованиям § 3.1.8 для этой линии можно не выполнять.

6.1.3. Для линии 31 требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника равна 167 А (500:3).

Проводником ближайшего меньшего сечения для этого значения тока является трехжильный кабель сечением 70 мм² (см. табл. 5), тогда как по расчетной нагрузке для этой линии выбран кабель сечением 50 мм². Следовательно, для этой линии необходима расчетная проверка на соответствие требованиям § 3.1.8.

В результате расчета получено значение тока однофазного короткого замыкания в точке К'31, равное 2 кА. Согласно § 3.1.8 отношение наименьшего тока КЗ к номинальному току плавкой вставки предохранителя должно быть не меньше значений, приведенных в § 1.7.79, т.е. не меньше, чем 3. В нашем случае это отношение равно 4 (2000:500).

Таким образом, увеличивать выбранное по расчетному току сечение линии 31 не требуется.

6.2. Второе значение кратности оговаривается для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку): не более 450 %.

В схеме на рис. 1 таких выключателей нет. Поэтому, в отступление от табл. 3, представим себе, что для защиты линии 33 выбран автоматический выключатель ВА13-25-32 с номинальным током расцепителя 25 А и кратностью отсечки 7, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель (см. табл. 1).

В этом случае, ток уставки автоматического выключателя равен 175 А (25×7) и кратность тока уставки по отношению к длительно допустимой токовой нагрузке проводника равна:

$$K_{33} = \frac{175 \times 100}{27} = 648 \%$$

Это больше допускаемой параграфам 3.1.9 кратности, поэтому учтем допущение § 3.1.13.

Требуемая длительно допустимая нагрузка проводника равна 39 А (175:4,5), и ближайшим меньшим (см. табл. 5) является кабель с длительно допустимым током 32 А сечением 6 мм². А т.к. для линии 33 выбран кабель сечением 4 мм², расчетную проверку кратности тока КЗ на соответствие требованиям § 3.1.8 следует выполнять.

Результаты расчетной проверки дали значение тока однофазного КЗ в конце линии 33, равное 0,5 кА. В соответствии с § 1.7.79 ПУЭ для обеспечения надежного срабатывания защиты минимальный ток КЗ должен быть больше уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (см. примеч. 2 к табл. 1), и на коэффициент запаса 1,1. В нашем случае это условие выполняется:

$$I_{кз} = 500 \text{ А} > 175 \text{ А} \times 1,2 \times 1,1 = 231 \text{ А}$$

Если бы для защиты линии 33 был выбран автоматический выключатель ВА13-29-32 с номинальным током расцепителя 25 А и кратностью отсечки 3, то кратность тока уставки по отношению к длительно допустимому току проводника равнялась бы

$$K_{33} = \frac{75 \times 100}{27} = 278 \%$$

и расчетную проверку на соответствие § 3.1.8 можно было бы не выполнять.

Примечание. Институт рекомендует для защиты электрических сетей общего назначения, как правило, использовать автоматические выключатели с комбинированным расцепителем: имеющие отсечку и обратно зависимую от тока характеристику.

6.3. Третье значение кратности оговаривается для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой: не более 100 %.

К таким выключателям на рис. 1 относятся все выключатели, кроме выключателей А и А1.

6.3.1. Найдем, пользуясь таблицей 3, оговариваемые кратности для линий 2, 11, 21, 31-34:

$$K_2 = \frac{200 \times 100}{184} = 109 \%$$

$$K_{11} = \frac{80 \times 100}{55} = 145 \%$$

$$K_{21} = \frac{80 \times 100}{32} = 250 \%$$

$$K_{31} = \frac{100 \times 100}{110} = 91 \%$$

$$K_{32} = \frac{50 \times 100}{60} = 83 \%$$

$$K_{33} = \frac{25 \times 100}{27} = 93 \%$$

$$K_{34} = \frac{16 \times 100}{19} = 84 \%$$

Полученные значения кратностей для линий 31-34 удовлетворяют условиям параграфа, и расчетную проверку кратности тока КЗ для этих линий можно не выполнять.

6.3.2. Для линии 2 (где полученная кратность более 100 %) учтем допущение § 3.1.13.

Требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника равна для этой линии номинальному току расцепителя автоматического выключателя: 200 А. Согласно табл. 5 для четырехжильных кабелей сечением 120 и 150 мм² длительно допустимый ток соответственно равен 184 и 216 А. Таким образом, выбранный для линии 2 кабель сечением 120 мм² является кабелем ближайшего меньшего сечения и расчетную проверку на кратность тока КЗ можно не выполнять.

6.3.3. Для линии 11 по аналогичной методике находим ближайшее меньшее сечение проводника: 25 мм². Сечение выбранного по нагрузке кабеля равно 16 мм², поэтому расчетная проверка на кратность тока КЗ для этой линии необходима.

Расчетное значение тока однофазного КЗ в точке К'11 равно 2,2 кА. Таким образом, регламентируемая § 1.7.79 кратность тока КЗ (не менее 3) обеспечивается с большим запасом: 2200 : 80 = 27,5.

6.3.4. Для линии 21 ближайшее меньшее сечение проводника равно 25 мм². По нагрузке выбран кабель сечением 6 мм². Расчетное значение тока однофазного КЗ в конце этой линии равно 200 А. Отношение наименьшего расчетного тока КЗ к номинальному току расцепителя автоматического выключателя равно 2,5 (200:80), тогда как в соответствии с § 3.1.8 и 1.7.79 оно должно быть не менее 3.

В этом случае (см. п. 2.3) для обеспечения необходимой кратности тока короткого замыкания нужно увеличить сечение линии. Расчеты показывают, что при увеличении сечения линии 21 на одну ступень (до 10 мм²) значение минимального тока КЗ в конце линии возрастает до 330 А и необходимая кратность ТКЗ обеспечивается (330 : 80 = 4,125).

ПРИМЕЧАНИЕ. На рис. 1 сечение линии 21 оставлено без изменения.

6.4. Четвертое значение кратности оговаривается для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависимой от тока характеристикой: не более 125 %.

К таким выключателям на рис. 1 нужно отнести выключатели А и А1, т.к. их время срабатывания при 6-кратном токе (в зоне работы с обратно зависимой от тока выдержкой времени) может регулироваться. (См. табл. 1).

Током трогания в этой главе ПУЭ называется минимальный ток, при котором гарантируется срабатывание разделителя с обратно зависимой от тока характеристикой. Кратность этого тока оговорена в четвертой графе табл. 1.

Таким образом, для выключателя А ток трогания (пользуясь терминологией действующих ПУЭ) будет равен (1600×1,25) А. Для выключателя А1 ток трогания равен (630×1,25) А.

Оговариваемые в § 3.1.9 кратности для этих выключателей соответственно равны:

$$K_A = \frac{(1600 \times 1,25) \times 100}{1600} = 125 \%, \quad K_1 = \frac{(630 \times 1,25) \times 100}{552} = 143 \%$$

Из полученных результатов следует, что автоматический выключатель А прямо удовлетворяет оговоренной кратности, а выключатель удовлетворяет условиям § 3.1.9 с учетом § 3.1.13 (требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника для линии 1 равна 630 А, а длительно допустимые токи трех четырехжильных кабелей сечением 120 и 150 мм² равны соответственно 552 и 648 А).

Расчетную проверку кратности тока КЗ для этих линий можно не выполнять.

6.5. Последний абзац § 3.1.9 запрещает использовать не соответствующие расчетному току защищаемой линии аппараты защиты (даже имеющиеся в наличии, например резервные), если использование этих аппаратов вызывает необходимость увеличивать сечение проводников по условиям чувствительности защиты.

Это касается в основном действующих электроустановок, где в таких случаях аппараты защиты следует заменять.

7. К ПАРАГРАФУ 3.1.10

«Сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией, должны быть защищены от перегрузки.

Кроме того, должны быть защищены от перегрузки сети внутри помещений:

осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюгов, чайников, плиток, комнатных холодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т.п.), а также в пожароопасных зонах;

силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях - только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;

сети всех видов во взрывоопасных зонах - согласно требованиям 7.3.94.»

Идеальное решение с позиций надежной эксплуатации: защищать от перегрузки все электрические сети. Но защита от перегрузки, как правило, (и особенно для сетей с пусковыми токами электродвигатели пиками технологических нагрузок) приводит к увеличению сечения проводников. Отсюда разделение сетей на сети,

требующие защиты от перегрузки, и сети, для которых достаточна только защита от токов короткого замыкания.

В § 3.1.10 перечислены сети, для которых защита от перегрузки является обязательной.

К ним относятся сети, опасные в пожарном отношении, сети в зданиях и помещениях, где возникновение пожара чревато тяжелыми последствиями, и сети, для которых вероятность возникновения перегрузки достаточно велика.

В дополнение к перечисленным в § 3.1.10 институт рекомендует защищать от перегрузки сети, прокладываемые в кабельных туннелях и кабельных этажах.

8. К ПАРАГРАФУ 3.1.11

«В сетях, защищаемых от перегрузок (см. 3.1.10), проводники следует выбирать по расчетному току, при этом должно быть обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

80 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), - для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией; для проводников, прокладываемых в невзрывоопасных производственных помещениях промышленных предприятий, допускается 100 %;

100 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), - для кабелей с бумажной изоляцией;

100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) - для проводников всех марок;

100 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой - для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой - для кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена.»

Для сетей, защищаемых от перегрузки, соблюдение оговоренных в параграфе кратностей обязательно.

После выбора аппаратов защиты в соответствии с § 3.1.4 оговоренные в § 3.1.11 кратности должны быть обеспечены соответствующим выбором сечения проводников.

Рассмотрим эти положения применительно к схеме на рис. 1 для случая, когда электрические сети требуют защиту от перегрузки.

8.1. Первое значение кратности оговаривается для номинального тока плавкой вставки предохранителя и тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку): не более 80 %.

8.1.1. Используя данные табл. 4, выберем сечения проводников для линий 2, 31-34, защищаемых предохранителями.

Отношение номинального тока плавкой вставки предохранителя ($I_{вст}$) к длительно допустимой токовой нагрузке проводника (I) должно удовлетворять неравенству:

$$\frac{I_{вст} \times 100}{I} \leq 80, \text{ откуда } \frac{I_{вст} \times 100}{80} \leq I$$

Тогда для рассматриваемых линий значения длительно допустимых токовых нагрузок проводников, по которым должны выбираться сечения м, будут выражаться неравенствами:

$$I_2 \geq \frac{630 \times 100}{80} = 788 \text{ А}$$

$$I_{31} \geq \frac{500 \times 100}{80} = 625 \text{ А}$$

$$I_{32} \geq \frac{50 \times 100}{80} = 63 \text{ А}$$

$$I_{33} \geq \frac{25 \times 100}{80} = 32 \text{ А}$$

$$I_{34} \geq \frac{40 \times 100}{80} = 50 \text{ А}$$

Сечения кабелей в мм² (S'), выбранные по этим длительно допускаемым токовым нагрузкам с учетом допущения § 3.1.13 по табл. 5, равны соответственно:

$$S'_2 = 3(3 \times 185 + 1 \times 70)$$

$$S'_{31} = 3(3 \times 120)$$

$$S'_{32} = 1(3 \times 16)$$

$$S'_{33} = 1(3 \times 6)$$

$$S'_{34} = 1(3 \times 10)$$

Если не учитывать § 3.1.13, сечения должны быть увеличены:

$$S''_2 = 3(3 \times 240 + 1 \times 95)$$

$$S''_{31} = 3(3 \times 150)$$

$$S''_{32} = 1(3 \times 25)$$

$$S''_{33} = 1(3 \times 6)$$

$$S''_{34} = 1(3 \times 16)$$

Для удобства сравнения ниже приводятся сечения линий, защищаемых предохранителями, для различных условий:

S - защита сетей только от ТКЗ;

S' - защита сетей от перегрузки с учетом § 3.1.13;

S'' - защита сетей от перегрузки без учета § 3.1.13.

$$S_2 = 1(3 \times 120 + 1 \times 50)$$

$$S'_2 = 3(3 \times 185 + 1 \times 70)$$

$$S''_2 = 3(3 \times 240 + 1 \times 95)$$

$$S_{31} = 1(3 \times 50)$$

$$S'_{31} = 3(3 \times 120)$$

$$S''_{31} = 3(3 \times 150)$$

$$S_{32} = 1(3 \times 16)$$

$$S'_{32} = 1(3 \times 16)$$

$$S''_{32} = 1(3 \times 25)$$

$$S_{33} = 1(3 \times 4)$$

$$S'_{33} = 1(3 \times 6)$$

$$S''_{33} = 1(3 \times 6)$$

$$S_{34} = 1(3 \times 2,5)$$

$$S'_{34} = 1(3 \times 10)$$

$$S''_{34} = 1(3 \times 16)$$

ПРИМЕЧАНИЕ. Первые значения сечений (S) для сетей, защищаемых только от токов короткого замыкания, указаны на рис. 1.

Как уже отмечалось выше, требование защиты сетей от перегрузки (и особенно в тех случаях, когда необходима отстройка защиты от пусковых токов) приводит к увеличению сечения проводников.

8.1.2. Рассмотрим теперь (как мы это делали для § 3.1.9) автоматический выключатель ВА13-29-32, имеющий только отсечку, в качестве выключателя А33. При номинальной токе 25 А и кратности отсечки 3 ток уставки автоматического выключателя равен 75 А.

Длительно допустимая токовая нагрузка линии 33, удовлетворяющая оговариваемой кратности

$$I_{33} \geq \frac{75 \times 100}{80} = 94 \text{ А}$$

По табл. 5 находим сечение кабеля с учетом (S'), а затем без учета (S'') параграфа 3.1.13.

$$S_{33} = 1(3 \times 4)$$

$$S'_{33} = 1(3 \times 35)$$

$$S''_{33} = 1(3 \times 50)$$

Как видим, использование для защиты сетей от перегрузки автоматических выключателей, имеющих только отсечку, даже в случае спокойной нагрузки (без пусковых токов) приводит к значительному увеличению сечения проводников.

8.2. Второе значение кратности оговаривается для тех же аппаратов защиты, но для кабелей с бумажной изоляцией: не более 100 %.

Отметим, что такое же значений кратности для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной изоляцией (см. второй абзац параграфа 3.1.11) допускается при их прокладке в невзрывоопасных производственных помещениях промышленных предприятий. (О термине «допускается» см. § 1.1.17 ПУЭ).

При одинаковой кратности результаты расчетов для обоих случаев будут одинаковыми.

Имея также в виду, что наши примеры служат только для пояснения методики расчетов, при выборе сечения будем пользоваться таблицей 5, хотя для кабелей с бумажной изоляцией длительно допустимые нагрузки несколько выше.

8.2.1. Длительно допустимые токовые нагрузки, удовлетворяющие кратности 100 %, равны номинальным токам плавких вставок (не менее). Для линий 2, 31-34

$$I_2 \geq 630 \text{ А}, I_{31} \geq 500 \text{ А}, I_{32} \geq 50 \text{ А}, I_{33} \geq 25 \text{ А}, I_{34} \geq 40 \text{ А}$$

Сечения кабелей:

$$\begin{aligned}
S_2 &= 1(3 \times 120 + 1 \times 50) \\
S'_2 &= 3(3 \times 120 + 1 \times 50) \\
S''_2 &= 3(3 \times 150 + 1 \times 70) \\
S_{31} &= 1(3 \times 50) \\
S'_{31} &= 3(3 \times 120) \\
S''_{31} &= 2(3 \times 185) \\
S_{32} &= 1(3 \times 16) \\
S'_{32} &= 1(3 \times 16) \\
S''_{32} &= 1(3 \times 16) \\
S_{33} &= 1(3 \times 4) \\
S'_{33} &= 1(3 \times 4) \\
S''_{33} &= 1(3 \times 4) \\
S_{34} &= 1(3 \times 2,5) \\
S'_{34} &= 1(3 \times 6) \\
S''_{34} &= 1(3 \times 10)
\end{aligned}$$

При выборе сечений S'_{32} и S'_{33} нельзя взять проводник ближайшего наименьшего сечения, т.к. применение проводника ближайшего меньшего сечения допускается параграфом 3.1.13 только в том случае, если оно меньше, чем это требуется по расчетному току.

8.2.2. Для автоматического выключателя требуемая длительно допустимая токовая нагрузка и сечение кабеля будут равны:

$$I_{33} \geq 75 \text{ A}, S_{33} = 1(3 \times 4), S'_{33} = 1(3 \times 35), S''_{33} = 1(3 \times 25)$$

В данном случае ближайшее меньшее и ближайшее большее сечения проводника оказались одинаковыми, т.к. значение требуемой допустимой длительной токовой нагрузки проводника точно совпало со значением длительно допустимого тока в табл. 5.

8.3. Третье значение кратности (не более 100 %) оговаривается для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой.

Как уже отмечалось выше, автоматические выключатели А2, А31-А34 на рис. 1 относятся к этому типу.

Сохраняя прежние условные обозначения, в соответствии с табл. 3 можем написать:

$$I_2 \geq 200 \text{ A}, I_{31} \geq 100 \text{ A}, I_{32} \geq 50 \text{ A}, I_{33} \geq 25 \text{ A}, I_{34} \geq 16 \text{ A}$$

По табл. 5 выбираем сечение кабелей:

$$\begin{aligned}
S_2 &= 1(3 \times 120 + 1 \times 50) \\
S'_2 &= 3(3 \times 120 + 1 \times 50) \\
S''_2 &= 3(3 \times 150 + 1 \times 70) \\
S_{31} &= 1(3 \times 50) \\
S'_{31} &= 3(3 \times 50) \\
S''_{31} &= 2(3 \times 50) \\
S_{32} &= 1(3 \times 16) \\
S'_{32} &= 1(3 \times 16) \\
S''_{32} &= 1(3 \times 16) \\
S_{33} &= 1(3 \times 4) \\
S'_{33} &= 1(3 \times 4) \\
S''_{33} &= 1(3 \times 4) \\
S_{34} &= 1(3 \times 2,5) \\
S'_{34} &= 1(3 \times 2,5) \\
S''_{34} &= 1(3 \times 2,5)
\end{aligned}$$

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что автоматические выключатели с обратно зависимой от тока характеристикой, выбранные для защиты сетей от коротких замыканий, как правило, защищают эти сети и от перегрузки: сечения S , S' , S'' для четырех линий оказались равными.

8.4. Четвертое значение кратности оговаривается для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой: не более 100 %.

На рис. 1 к выключателям этого типа относятся выключатели А и А1 (см. табл. 3 и табл. 1). Но поскольку выключатель А защищает линию, выполненную шинопроводом, а рассматриваемая кратность дается для изолированных проводников, выключатель А в этом примере рассматривать не будем. Напомним, что кратность «тока трогания» дана в четвертой графе табл. 1.

Ток трогания для автоматического выключателя А1 равен $(630 \times 1,25) \text{ A}$.

Следовательно, чтобы удовлетворять кратности 100 % (не более), длительно допустимая токовая нагрузка проводника должна быть не менее этого значения тока трогания, т.е.:

$$I_1 \geq 630 \times 1,25 = 788 \text{ A}$$

По табл. 5 определяем сечения S'_1 и S''_1 :

$$S_1 = 3(3 \times 120 + 1 \times 50)$$

$$S'_1 = 3(3 \times 185 + 1 \times 70)$$

$$S''_1 = 3(3 \times 240 + 1 \times 95)$$

8.5. Последнее значение кратности оговаривается также для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой, но для кабелей с другой изоляцией: не более 125 %.

В этом случае, для линии с выключателем А1 длительно допустимый ток проводника должен удовлетворять неравенству:

$$I_1 \geq \frac{630 \times 1,25}{1,25} = 630 \quad \text{А}$$

По табл. 5 определяем сечения S'_1 и S''_1 :

$$S_1 = 3(3 \times 120 + 1 \times 50)$$

$$S'_1 = 3(3 \times 120 + 1 \times 50)$$

$$S''_1 = 3(3 \times 150 + 1 \times 70)$$

8.6. Институт не рекомендует применять для защиты сетей от перегрузки автоматические выключатели, имеющие только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), и предохранители, если применение указанных аппаратов вызывает необходимость значительно завышать сечение защищаемых проводников (например, в сетях с пусковыми токами).

9. ЗАМЕЧАНИЕ

В главе 3.1 ПУЭ существует различный подход к автоматическим выключателям с нерегулируемой и регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой: в первом случае чувствительность защиты связывается с номинальным током расцепителя, во втором - с током трогания расцепителя (током срабатывания).

Такое различие в подходах вызвано опасением, что для регулируемой характеристики кратность тока срабатывания по отношению к номинальному может быть значительно увеличена по сравнению с кратностью, принятой для нерегулируемой характеристики. На самом же деле, для всех выключателей в табл. 1 эта кратность изменяется в сравнительно небольших пределах (1,2 1,35), а главное, никак не связана с возможностью регулирования характеристик. Поэтому в требованиях ПУЭ трудно найти строгую логику, и в наших примерах отнесение характеристик автоматических выключателей к регулируемым или нерегулируемым является довольно условным.

Чтобы устранить эту нечеткость, в новой редакции главы 3.1, подготовленной для 7-го издания ПУЭ, требования к чувствительности защиты связываются с током срабатывания расцепителя, независимо от того, регулируемой или нерегулируемой является характеристика автоматического выключателя.

10. К ПАРАГРАФУ 3.1.12

«Длительно допустимая токовая нагрузка проводников ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям должна быть не менее: 100 % номинального тока электродвигателя в невзрывоопасных зонах; 125 % номинального тока электродвигателя во взрывоопасных зонах.

Соотношения между длительно допустимой нагрузкой проводников к короткозамкнутым электродвигателям и уставками аппаратов защиты в любом случае не должны превышать указанных в 3.1.9 (см. также 7.3.97).»

Формулировка последнего абзаца в § 3.1.12 неудачна, и в следующем издании ПУЭ редакция параграфа будет изменена.

Соотношения, оговоренные в § 3.1.9, необязательны для ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям, если выполняются требования § 3.1.8 по кратности тока КЗ.

Если ответвления к короткозамкнутым электродвигателям в соответствии с § 3.1.10 следует защищать от перегрузки, то их защита должна удовлетворять кратностям, оговоренным в § 3.1.11.

11. К ПАРАГРАФУ 3.1.13

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

В этом параграфе под требуемой допустимой длительной токовой нагрузкой проводника имеется в виду наименьшее значение тока, которое удовлетворяет кратностям, оговоренным в § 3.1.9 и 3.1.11.

В целях экономии проводниковых материалов § 3.1.13 допускает некоторое увеличение этих кратностей, разрешая применять ближайшее меньшее сечение, если требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника не совпадает точно с длительно допустимым током стандартного сечения.

Для сетей, требующих защиту от перегрузки, институт рекомендует обеспечивать кратности, оговоренные в § 3.1.11, не увеличивая их в соответствии с допущениями § 3.1.13 (т.е. не применяя ближайшее меньшее сечение).

12. К ВЫБОРУ ЗАЩИТЫ

Можно ли использовать пускатель с тепловыми реле для защиты электрических сетей? Какое соотношение между номинальным током расцепителя автоматического выключателя (между номинальным током плавкой вставки

предохранителя) и номинальным током тепловых реле должно быть в этом случае?

В главе 3.1 [ПУЭ](#) в качестве аппаратов защиты электрических сетей рассматриваются только автоматические выключатели и предохранители.

Однако если в схеме управления электродвигателем установлен пускатель с тепловыми реле, последний отключает при перегрузке электродвигателя и ответвление к нему.

Поэтому, принимая во внимание, что тепловые реле допускают единичные срабатывания при восьмикратном номинальном токе (ГОСТ 16308-84*В), а пускатели и контакторы в режиме редких коммутаций способны отключать шестикратный номинальный ток (ГОСТ 11206-77*Е), в новой редакции главы 3.1 для следующего издания [ПУЭ](#) рекомендуется учитывать тепловые реле пускателя при защите ответвлений к электродвигателям. Эта рекомендация не противоречит требованиям действующих [ПУЭ](#) и приводится ниже.

«При защите ответвлений к электродвигателям автоматическими выключателями или предохранителями, (за исключением ответвлений во взрывоопасных зонах) рекомендуется учитывать тепловые реле в схеме управления электродвигателем, установленные в начале ответвления и действующие на отключение пускателя (контактора).

При наличии таких реле ответвление защищается от токов КЗ и перегрузки при выполнении следующих условий:

номинальный ток тепловых реле не превышает длительно допустимый ток ответвления;

число тепловых реле удовлетворяет требованиям § 3.1.18, предъявляемым к расцепителям автоматических выключателей;

номинальный ток расцепителей автоматического выключателя с обратной зависимостью от тока характеристикой или плавких вставок предохранителей превышает номинальный ток тепловых реле не более чем в 2 раза.

При выполнении вышеуказанных условий не требуется выполнять расчетную проверку кратности токов КЗ на соответствие требованиям § 3.1.8 и выдерживать кратности токов аппаратов защиты, оговоренные в § 3.1.9 и 3.1.11.

Если защита от перегрузки ответвлений к электродвигателям диктуется только требованиями предпоследнего абзаца § 3.1.10, то тепловые реле, предназначенные для защиты электродвигателя, защищают от перегрузки и ответвления независимо от места их установки (в начале или в конце линии). К аппаратам защиты в этом случае предъявляются только требования по защите сетей от токов КЗ.

Требования данного пункта не распространяются на собственные нужды электростанций.»

Такие соотношения приняты из расчета, что в пределах до 6-кратного значения аварийные токи могут отключаться пускателем помощью тепловых реле. А 6-кратный ток по отношению к номинальному току тепловых реле при оговоренных выше условиях является не менее, чем 3-кратным по отношению к номинальному току расцепителя автоматического выключателя или к номинальному току плавкой вставки предохранителя, что удовлетворяет требованиям § 3.1.8 к необходимой кратности токов КЗ.

13. К ПАРАГРАФУ 3.1.16

«Аппараты защиты должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии. Допускается в случаях необходимости принимать длину участка между питающей линией и аппаратом защиты ответвления до 6 м. Проводники на этом участке могут иметь сечение меньше, чем сечение проводников питающей линии, но не менее сечения проводников после аппарата защиты.

Для ответвлений, выполняемых в труднодоступных местах (например, на большой высоте), аппараты защиты допускается устанавливать на расстоянии до 30 м от точки ответвления в удобном для обслуживания месте (например, на вводе в распределительный пункт, в пусковом устройстве электроприемника и др.). При этом сечение проводников ответвления должно быть не менее сечения, определяемого расчетным током, но должно обеспечивать не менее 10 % пропускной способности защищенного участка питающей линии. Прокладка проводников ответвлений в указанных случаях (при длинах ответвлений до 6 и до 30 м) должна производиться при горючих наружных оболочке или изоляции проводников - в трубах, металлорукавах или коробах, в остальных случаях, кроме кабельных сооружений, пожароопасных и взрывоопасных зон, - открыто на конструкциях при условии их защиты от возможных механических повреждений.»

В этом параграфе сформулировано основное требование к расположению аппаратов защиты: аппараты защиты должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии.

В то же время, параграфом допускаются и некоторые отступления этого основного требования.

13.1. Ящик управления асинхронным электродвигателем мощностью 45 кВт (номинальный ток 95 А) установлен на колонне цеха. Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, установленного в ящике управления, равен 100 А. К электродвигателю проложен кабель сечением 50 мм² с длительно допустимым током 110 А.

Ящик управления нужно подключить к распределительному шинопроводу, расположенному на высоте 3,5 м и защищаемому автоматическим выключателем с расцепителем 630 А. Длина трассы от шинопровода до ящика управления около 5 м.

Если следовать основному требованию параграфа, то автоматический выключатель нужно установить на шинопровode, где обслуживание выключателя связано с неудобствами. (См. [рис. 2](#), а).

Другое решение, которое не вызывает сомнения с точки зрения защиты: выполнить ответвление от шинопровода до ящика управления проводником такого же сечения, что и шинопровод. Но это практически невозможно.

Поэтому воспользуемся тем решением, которое допускается параграфом 3.1.16: подключим ящик управления к шинопроводу кабелем АВВГ сечением 50 мм². При этом оказываются выполненными все ограничения, которые предъявляются [ПУЭ](#) к данному допускаемому решению: длина участка между питающей линией и аппаратом защиты не более 6 м; сечение кабеля на этом участке не менее, чем сечение кабеля после аппарата защиты; наружная оболочка кабеля не распространяет горения, поэтому возможна открытая прокладка. (См. [рис. 2](#), б).

В соответствии с техническим указанием НПО «Электромонтаж» ответвления длиной до 6 м от шинопроводов к вводным устройствам технологического оборудования, к щитам, распределительным пунктам и другим подобным

устройствам, имеющим на вводе аппараты защиты, следует выполнять, как правило, без автоматических выключателей на шинопроводах, используя решения, допускаемые § 3.1.16 ПУЭ. (См. [рис. 2](#), в).

13.2. Ящик управления тем же электродвигателем, что и в примере 13.1, нужно подключить к магистральному шинопроводу на ток 1600 А, расположенному высоко над отметкой пола в межферменном пространстве цеха. Длина трассы от шинопровода до ящика управления около 20 м.

Обслуживание автоматических выключателей на такой высоте связано с большими трудностями. Поэтому есть смысл воспользоваться теперь уже другим допускаемым решением: для ответвлений, выполняемых в труднодоступных местах, и подключить ящик управления к шинопроводу без установки автоматического выключателя непосредственно на шинопровode.

В нашем случае, кабель, который предназначается для ответвления, должен иметь длительно допустимый ток не менее 95 А (расчетный ток нагрузки) и не менее 160 А (10 % от пропускной способности шинопровода). По табл. 5 определяем сечение кабеля АВВГ: 95 мм². Длительно допустимый ток кабеля 170 А. (См. [рис. 2](#), г).

Таким образом, отказ от установки аппарата защиты непосредственно у места ответвления привел к необходимости на участке от шинопровода до ящика управления зависеть на две ступени сечение кабеля, необходимое по расчетному току.

Но если бы пропускная способность шинопровода была равна, например 1000 А, то зависеть сечение кабеля не было бы необходимости: кабель сечением 50 мм², выбранный по расчетному току ответвления, удовлетворял бы всем требованиям параграфа.

14. К ПАРАГРАФУ 3.1.19

«Аппараты защиты допускается не устанавливать, если это целесообразно по условиям эксплуатации, в местах:

1) ответвления проводников от шин щита к аппаратам, установленным на том же щите; при этом проводники должны выбираться по расчетному току ответвления;

2) снижения сечения питающей линии по ее длине и на ответвлениях от нее, если защита предыдущего участка линии защищает участок со сниженным сечением проводников или если незащищенные участки линии или ответвления от нее выполнены проводниками, выбранными с сечением не менее половины сечения проводников защищенного участка линии;

3) ответвления от питающей линии к электроприемникам малой мощности, если питающая их линия защищена аппаратом с уставкой не более 25 А для силовых электроприемников и бытовых электроприемников, а для светильников - согласно 6.2.2;

4) ответвления от питающей линии проводников цепей измерений, управления и сигнализации, если эти проводники не выходят за пределы соответствующих машин или щита или если эти проводники выходят за их пределы, но электропроводка выполнена в трубах или имеет негорючую оболочку.

Не допускается устанавливать аппараты защиты в местах присоединения к питающей линии таких цепей управления, сигнализации и измерения, отключение которых может повлечь за собой опасные последствия (отключение пожарных насосов, вентиляторов, предотвращающих образование взрывоопасных смесей, некоторых механизмов собственных нужд электростанций и т.п.). Во всех случаях такие цепи должны выполняться проводниками в трубах или иметь негорючую оболочку. Сечение этих цепей должно быть не менее приведенных в 3.4.4.»

Формулировки этого параграфа являются достаточно определенными, поэтому рассмотрим лишь одно из решений, допускаемых пунктом 2, а также прокомментируем требования последнего абзаца параграфа.

14.1. На [рис. 3](#), а дан пример выполнения линии шинопроводами двух сечений. В соответствии с п. 2 § 3.1.19 такое выполнение линии, без установки аппарата защиты в месте уменьшения ее сечения, допускается, т.к. $S_2 \geq 0,5 \times S_1$. Защита головного участка линии, выполненного шинопроводом ШМА4-1600, должна обеспечиваться в соответствии с требованиями § 3.1.8 или (при защите сетей от перегрузки) § 3.1.11.

Если для рассматриваемой схемы определить расчетом значение тока однофазного короткого замыкания в точке К₂, то оно окажется равным 7 кА. Это значение минимального тока КЗ удовлетворяет требованиям § 3.1.8 к чувствительности защиты от токов короткого замыкания. Но такой расчет при выполнении условий, оговоренных в п. 2 § 3.1.19, не является обязательным.

14.2. На [рис. 3](#), б и 3, в даны примеры аналогичных схем, выполненных в соответствии с п. 2 кабелями.

Расчетное значение тока КЗ для этих схем в точке К₂ равно 1,3 кА и 0,28 кА соответственно. В обоих случаях линии защищаются токами короткого замыкания.

14.3. Рассмотренные здесь допускаемые решения продиктованы практикой выполнения распределительных сетей. И если при использовании таких решений не терять здравого смысла (не делать, например, линию с уменьшенным сечением слишком протяженной), все участки линии окажутся защищенными от токов короткого замыкания.

В проекте новой редакции главы область использования рассмотренных здесь решений ограничивается: такие решения допускаются только для сетей, не требующих защиты от перегрузки, и только в тех случаях, когда эти сети прокладываются вне взрыво- и пожароопасных зон и кабельных сооружений.

14.4. По мнению института, круг электроприемников, к которым относятся требования последнего абзаца § 3.1.19, должен быть, по возможности, ограничен, т.к. электрические цепи, оставленные без защиты (особенно, разветвленные), сами могут стать причиной аварийных ситуаций. Необходимая надежность работы ответственных систем в конкретных проектах может быть обеспечена и при наличии аппаратов защиты в цепях управления, если в этих системах предусматривается технологическое резервирование и выполняется контроль исчезновения напряжения в защищаемых цепях управления с действием на предупреждающий сигнал.

В проекте новой редакции главы 3.1 ПУЭ текст последнего абзаца § 3.1.19 из содержания исключен.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Тип автоматического выключателя, номинальный ток, тип расцепителей	Номинальный ток расцепителя, А	Кратность к номинальному току расцепителя		Предельная коммутационная способность при напряжении 380 В (действующее значение)	
		уставки отсечки	тока срабатывания расцепителей с обратной зависимостью от тока выдержкой времени	кА	одноразовая, кА
ВА13-25-32 25 А эмр	3,15 5 16 25	7	-	1,5 (При 1140 В)	Не указана
ВА13-29-32 63 А эмр	6,3 8 10 12,5 16 20 25 31,5 40 50 60	3, 12	-	12	15
ВА13-29-33 63 А эмг	6,3 8 10 12,5 16 20 25 31,5 40 50 63	12	1,2 - Время срабатывания не более 1 ч 7 - Время срабатывания от 1 до 15 с	12	15
ВА 51-25-34 25 А мр + тр	6,3 8	7, 10	1,35 - Время срабатывания не более 1 ч	2	5
	10 12,5			2,5	
	16 20 25			3,8	
	16 20 25 - для IP54			2	
ВА51Г25-34 25 А эмр + тр (Для защиты электродвигателей)	6,3 8	14	1,2 - Время срабатывания не более 30 мин 7 - Время срабатывания от 3 до 15 с	1,5	5
	10 12,5			2	
	16 20 25			3	
	16 20 25 - для IP54			2	
ВА51-31-1 100 А эмр + тр (Однополюсный)	6,3 8 10 12,5	3, 7, 10	1,35 - Время срабатывания не более 1 ч	2	5
	16			3	6
	20 25			4	7
	31,5 40 50 63 80 100			6	
ВА51-31-34 100 А эмр + тр	6,3 8	3, 7, 10	1,35 - Время срабатывания не более 1 ч	2	5
	10 12,5			2,5	12
	16			3,8	
	20 25			5	
	31,5 40 50 63			7	
	80 100			10	
ВА51Г31-34 100 А эмр + тр (Для защиты электродвигателей)	6,3 8 10 12,5	14	1,2 - Время срабатывания не более 30 мин 7 - Время срабатывания от 3 до 15 с	Не указана	5
	16 20 25			3,6	12
	31,5 40 50 63			7	
	80 100			10	
ВА51-33-34 160 А эмр + тр	80 100 125 160	10	1,25 - Время срабатывания не более 2 ч	12,5	15
ВА51Г33-34 160А эмр + тр (Для защиты электродвигателей)	80 100 125 160	14	1,2 - Время срабатывания не более 30 мин 7 - Время срабатывания от 3 до 15 с	12,5	15
ВА51-35-34 250 А эмр + тр	80	12	1,25 - Время срабатывания не более 2 ч	15	22
	100 125 160 200 250			18	
ВА52-35-34 250 А эмр + тр Повышенной коммутационной способности	80 100 125 160 200 250	12	1,25 - Время срабатывания не более 2 ч	40	45

Тип автоматического выключателя, номинальный ток, тип расцепителей	Номинальный ток расцепителя, А	Кратность к номинальному току расцепителя		Предельная коммутационная способность при напряжении 380 В (действующее значение)	
		уставки отсечки	тока срабатывания расцепителей с обратной зависимостью от тока выдержкой времени	кА	одноразовая, кА
ВА51-39-34 630 А эмр + тр	400 500 630	10	1,25 - Время срабатывания не более 2 ч	35	60
ВА52-39-34 630 А эмр + тр Повышенной коммутационной способности	250 320	12	1,25 - Время срабатывания не более 2 ч	40	60
	400	10		50	
	500 630	10		55	
ВА53-39-34 630 А эмр + ппр Токоограничивающие	400 500 630	2, 3, 5, 7, 10	1,25 - Время срабатывания не указано 6 - Время срабатывания 4, 8 или 16 с	55	60
ВА55-39-35 630 А ппр С выдержкой времени в зоне токов КЗ	400 500 630	2, 3, 5, 7, 10 Время срабатывания 0,1; 0,2 или 0,3 с	1,25 - Время срабатывания не указано 6 - Время срабатывания 4, 8 или 16 с	47,5	53
ВА53-41-34 1000 А ппр Токоограничивающие	630 800 1000	2, 3, 5, 7	1,25 - Время срабатывания не указано 6 - Время срабатывания 4, 8 или 16 с	135	140
ВА55-41-35 1000 А ппр С выдержкой времени в зоне токов КЗ	630 800 1000	2, 3, 5, 7 Время срабатывания 0,1; 0,2 или 0,3 с	1,25 - Время срабатывания не указано 6 - Время срабатывания 4, 8 или 16 с	55	60
ВА53-43-34 1600 А эмр + ппр Токоограничивающие	1000 1250 1600	2, 3, 5, 7	1,25 - Время срабатывания не указано 6 - Время срабатывания 4, 8 или 16 с	135	140
ВА55-43-35 1600 А ппр С выдержкой времени в зоне токов КЗ	1000 1250 1600	2, 3, 5, 7 Время срабатывания 0,1; 0,2 или 0,3 с	1,25 - Время срабатывания не указано 6 - Время срабатывания 4, 8 или 16 с	80	85

ПОЯСНЕНИЯ:

1. Тип расцепителей в первой графе условно обозначен:

эмр - электромагнитные;

тр - тепловые;

ппр - полупроводниковые;

эмг - электромагнитные с гидравлическим замедлением.

2. Точность срабатывания отсечки по току (третья графа) для всех выключателей равна $\pm 20\%$.

3. Автоматические выключатели ВА51-25-34, ВА51Г25-34, ВА51-31-34 и ВА51Г31-34 допускают регулирование номинального тока расцепителя (графа вторая) в пределах от 0,3 до 1.

4. В четвертой графе для значений кратности тока 1,2; 1,25; 1,35 время срабатывания дано при условии отсчета с нагретого состояния расцепителей.

Время срабатывания при кратности 7 указано при условии отсчета с холодного состояния расцепителей.

5. Для автоматических выключателей с полупроводниковыми расцепителями значения номинального тока расцепителей (вторая графа) значения кратности уставки отсечки (третья графа), а также значения времени срабатывания отсечки (0,1; 0,2 или 0,3 с) и времени срабатывания при 6-кратном токе (4, 8 или 16 с) могут устанавливаться при эксплуатации.

6. Следует иметь в виду, что автоматические выключатели с выдержкой времени в зоне токов КЗ (селективные) имеют верхнюю границу зоны селективности, которая для выключателей в табл. 1 выражается следующими значениями:

BA55-39-35 (номинальный ток 630 А) - 25 кА,
 BA55-41-35 (номинальный ток 1000А) - 20 кА,
 BA55-43-35 (номинальный ток 1600А) - 31 кА.

Токи КЗ, значения которых превышают верхнюю границу зоны селективности, отключаются автоматическими выключателями без выдержки времени.

7. Источники информации:

BA13-25-32 Техническое описание и инструкция по эксплуатации ГЖИК.
 BA13-29-32 641200.064 ТО
 BA13-29-33
 BA51-25-34 Каталог Информэлектро (ИЭ) 07.00.13-90, Техническое описание
 BA51Г25-34 и инструкция по эксплуатации
 BA51-31-1 Каталог ИЭ 07.00.14-88, ТУ16-641.002-83
 BA51-31-34
 BA51Г31-34
 BA51-33-34
 BA51Г33-34 ТУ16-641.002-83
 BA51-35-34 Каталог ИЭ 07.00.22-89
 BA52-35-34 ТУ16-641.020-84
 BA51-39-34 Каталог ИЭ 07.00.21-87
 BA52-39-34 Каталог ИЭ 07.00.21-87. ТУ16-641.020-84
 BA53-39-34 ТУ16-641.022-84
 BA55-39-35
 BA53-41-34 Каталог ИЭ 07.01.07-87
 BA55-41-35
 BA53-43-34 Каталог ИЭ 07.01.04-88
 BA55-43-35

Автоматические выключатели, приведенные в таблице, взяты из выпущенной ВНИИР Минэлектротехприбора СССР «Номенклатуры электрических аппаратов и приборов, применяемых в низковольтных комплектных устройствах управления электроприводами» - ОЛХ.195.004-89. Аппараты и приборы этой номенклатуры имеют широкое применение в низковольтных комплектных устройствах для всех отраслей промышленности.

Таблица 2

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Тип предохранителя, номинальный ток	Номинальный ток плавкой вставки, А	Отношение к номинальному току плавкой вставки условного тока		Наибольшая отключающая способность, кА (действующее значение)
		неплавления	плавления	
ПРС-6 6 А	6	1,5	1,9	30
ПРС-25 25 А	6 10	1,5	1,9	30
	16 20 25	1,4	1,75	
ПП24-25 25 А	6 10	1,5	1,9	100
	16 20 25	1,4	1,75	
НПН2-60 63 А	6 10	1,5	1,9	10
	16 20 25	1,4	1,75	
	31,5 40 63	1,3	1,6	
ПН2-100 100 А	31,5 40 50 63 80 100	1,2	1,6	100
ПН2-250 250 А	80 100 125 160 200 250	1,2	1,6	100
ПН2-400 400 А	200 250 315 355 400	1,2	1,6	40
ПН2-600 630 А	315 400 500 630	1,2	1,6	25
ПП17-3970 1000 А	500 630 800 1000	1,2	1,6	120

ПОЯСНЕНИЯ:

1. Плавкие вставки предохранителей, кроме предохранителей типа ПП17, испытываются током неплавления в течение одного часа. Для плавких вставок предохранителей ПП17 время испытания равно 4 часам.

Время испытания током плавления равно времени испытаний током неплавления.

2. Источники информации:

ПРС-6 Каталог Информэлектро (ИЭ) 07.04.05-88.
 ПРС-25 Каталог ИЭ 07.04.05-88, ТУ16-522.112-74.
 ПП24-25 Каталог ИЭ 07.04.12-86, ТУ16-646.001-85.
 НПН2-60 Каталог ИЭ 07.04.13-87, ТУ16-521.010-75.

ПН2 Каталог ИЭ 07.04.08-84, ТУ16-522.113-75.

ПН17-3970 Каталог ИЭ 07.04.14-87, ТУ16-522.133-77.

Плавкие предохранители, приведенные в таблице, взяты из выпущенной ВНИИР Минэлектротехприбора СССР «Номенклатуры электрических аппаратов и приборов, применяемых в низковольтных комплектных устройствах управления электроприводами» - ОЛХ.195.004-89. Аппараты и приборы этой номенклатуры имеют широкое применение в низковольтных комплектных устройствах для всех отраслей промышленности.

Таблица 3

Тип автоматических выключателей на рис. 1

Обозначение выключателя	Ток линии, А		Тип выключателя	Номинальный ток расцепителя, А	Кратность уставки отсечки		Коммутационная способность: предельная/однофазовая, кА
	Расчетный	Длительно допустимый			имеющаяся на выключателе	выбранная для схемы	
А	1440	1600	ВА55-43-35	1600	2, 3, 5, 7	5	80/85
А1	550	552	ВА55-39-35	630	2, 3, 5, 7	5	47,5/53
А2	180	184	ВА52-35-34	200	12	12	40/45
А11	50	55	ВА52-35-34	80	12	12	40/45
А21	30	32	ВА51-35-34	80	12	12	15/22
А31	95	110	ВА51Г31-34	100	14	14	10/12
А32	50	60	ВА51-31-34	50	3, 7, 10	3	7/12
А33	25	27	ВА51-25-34	25	7, 10	7	3,8/5
А34	14	19	ВА51Г25-34	16	14	14	3/5

Таблица 4

Сравнительные параметры предохранителей и автоматических выключателей, выбранных для защиты одних и тех же линий на рис. 1

Номер	Линия		Предохранители		Автоматические выключатели	
	Ток, А		Тип	Номинальный ток плавкой вставки, А	Номинальный ток расцепителя, А	Кратность отсечки
	Расчетный	Длительно допустимый				
2	180	184	ПН2-600	630	200	12
31	95	110	ПН2-600	500	100	14
32	50	60	ПН2-100	50	50	3
33	25	27	ПРС-25	25	25	7
34	14	19	НПН2-60	40	16	14

Таблица 5

Выборка из табл. 1.3.7 ПУЭ

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией при прокладке в воздухе

Сечение, мм ²	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Ток, А	$\frac{19}{17}$	$\frac{27}{25}$	$\frac{32}{29}$	$\frac{42}{39}$	$\frac{60}{55}$	$\frac{75}{69}$	$\frac{90}{83}$	$\frac{110}{101}$	$\frac{140}{129}$	$\frac{170}{156}$	$\frac{200}{184}$	$\frac{235}{216}$	$\frac{270}{248}$

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе указаны нагрузки для трехжильных кабелей, в знаменателе - для четырехжильных (с коэффициентом 0,92).

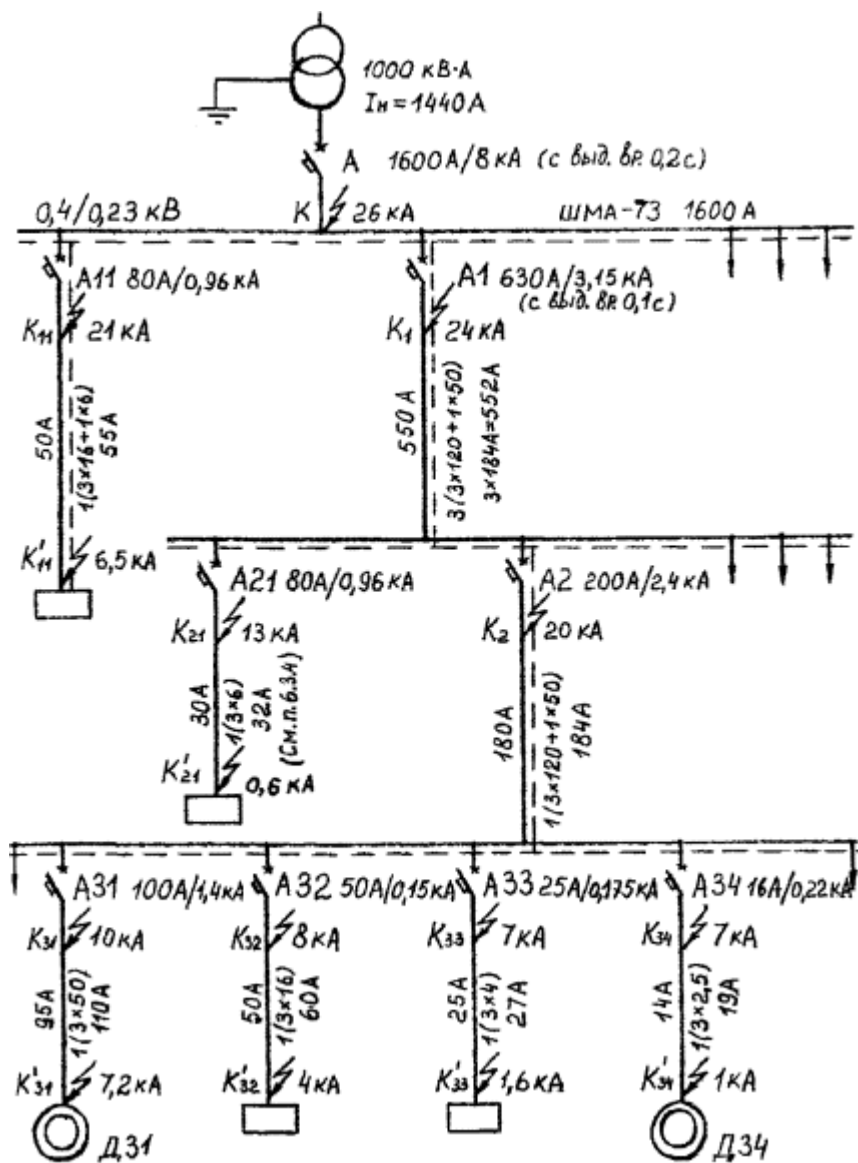
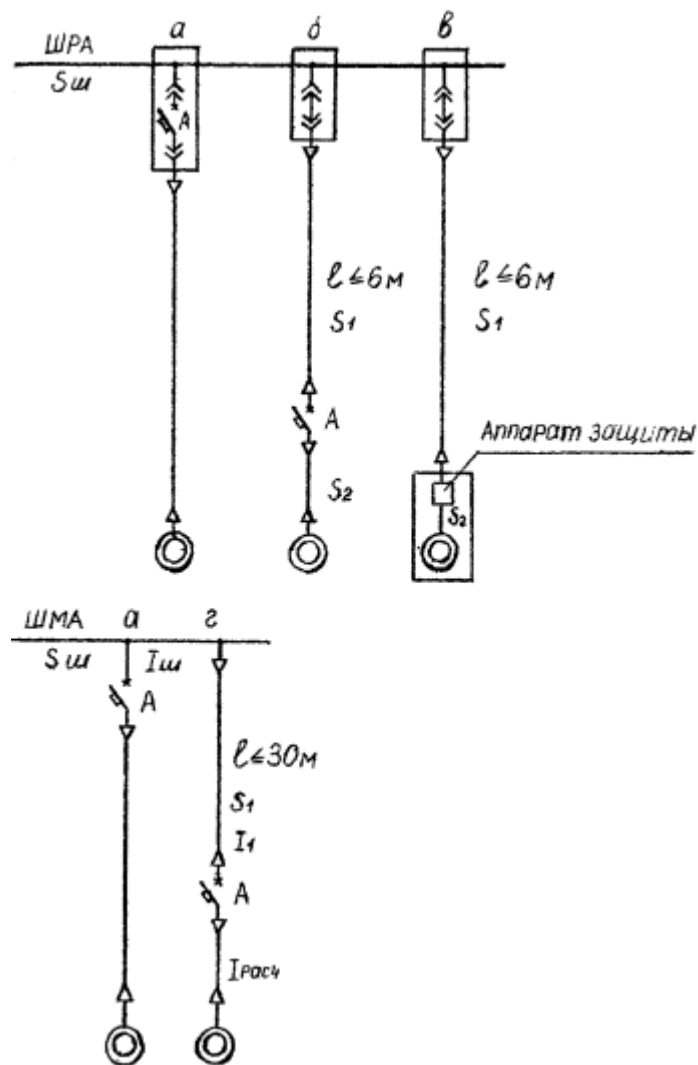


Рис. 1. Схема электрической сети

Пояснение. Для линий указаны расчетный ток, сечение и длительно допустимый ток кабеля, для автоматических выключателей - номинальный ток расцепителя и ток отсечки.



а. Установка аппаратов защиты в соответствии с основным требованием § 3.1.16.

б. Допускаемое решение при $l \leq 6$ м. Можно принимать $S_1 < S_{ш}$, но $S_1 \geq S_2$. При этом должны выполняться специальные требования § 3.1.16 к прокладке кабелей.

в. При выполнении условий пункта «б» устанавливать выключатель А не требуется, если аппарат защиты поставляется комплектно с механизмом.

г. Допускаемое решение при $l \leq 30$ м. Можно принимать $S_1 < S_{ш}$, но $I_1 \geq I_{расч}$ и $I_1 \geq 0,1 \cdot I_{ш}$, где I_1 и $I_{ш}$ - длительно допустимые токи кабеля и шинпровода, $I_{расч}$ - расчетный ток отключения. При этом должны выполняться специальные требования § 3.1.16 к прокладке кабелей.

Рис. 2. Примеры к § 3.1.16

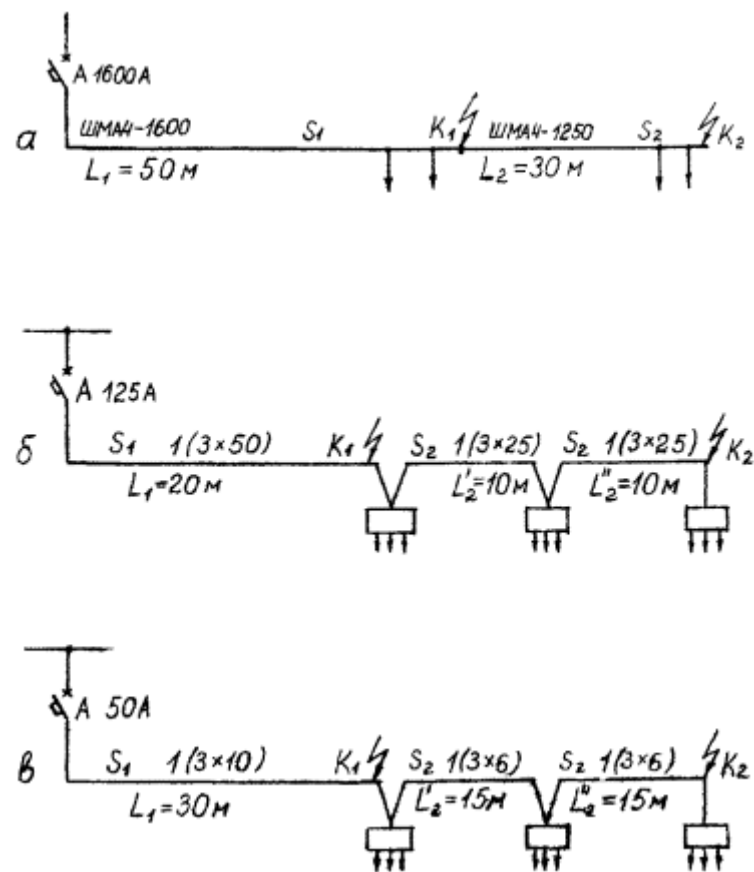


Рис. 3. Примеры к § 3.1.19