

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ 0,4 кВ

Учебное пособие

*Пособие разработано республиканским унитарным предприятием
электроэнергетики «Могилевэнерго»*

Разработчик Цалко В.А.

Редакционная группа: Цариков Н.Н., Можар Н.М.,
Лисова Л.В., Пашкевич А.А.

Расчет токов короткого замыкания и выбор аппаратов защиты в электрических сетях 0,4 кВ

Рассмотрены методы расчета токов короткого замыкания в электрических сетях 0,4 кВ. Дан метод выбора аппаратуры защиты (предохранителей и автоматических выключателей), расчет уставок, согласования характеристик и проверка селективности. Приведены примеры расчета типовых схем и необходимые справочные материалы.

Пособие предназначено для инженерно-технических работников и электромонтеров, обслуживающих электрические сети, а также может быть полезно работникам электрических станций, тепловых сетей и проектных подразделений.

ВВЕДЕНИЕ

Электрические сети 0,4 кВ являются наиболее распространенными, они обеспечивают внешнее электроснабжение промышленных, сельскохозяйственных, коммунально-бытовых и других объектов. От этих сетей во многом зависит надежная работа потребителей электрической энергии.

В предлагаемой работе рассмотрены вопросы расчета токов короткого замыкания в электрических сетях 0,4 кВ, а также этих сетей предохранителями и автоматическими выключателями.

При расчете токов короткого замыкания, которые выполнены без учета углов сопротивлений отдельных элементов сети и нагрузки, принималось, что рассматриваемая сеть питается от системы неограниченной мощности, и не учитывалась подпитка короткого замыкания асинхронными и синхронными двигателями.

Поскольку в настоящее время отсутствуют руководящие указания по защите электрических сетей 0,4 кВ, методика расчетов токов короткого замыкания (к.з.) и выбор защитных аппаратов, приведенные в данной работе, составлены на основании справочных и других материалов Минэнерго СССР, концерна "Белэнерго" и заводов-изготовителей.

В ней также приведены необходимые справочные материалы и примеры выполнения расчетов токов к.з.

За последние годы существенно изменилась техническая оснащенность низковольтных шкафов 0,4 кВ трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ. Созданы новые типы автоматических выключателей с применением полупроводниковых расцепителей, которые имеют возможность регулировки защитных характеристик и обеспечивают чувствительную защиту от однофазных коротких замыканий в электросетях 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью. Внедряются также специаль-

ные защиты нулевой последовательности и приборы для определения токов однофазных к.з., которые позволяют исключить ошибки персонала при выполнении расчетов токов к.з.

Цель данной работы – оказать практическую помощь персоналу Электрических сетей при расчетах токов к. з., выборе аппаратуры защит, а также построения схем сетей 0,4 кВ, поскольку эти вопросы для сетей данного напряжения неразрывно связаны и должны решаться совместно.

1. Общие сведения о коротких замыканиях

1.1. В процессе эксплуатации может возникнуть необходимость определения величины токов короткого замыкания (к. з.):

- при изменении схемы электроснабжения объекта;
- при частичной реконструкции (изменении протяженности, марки и сечения провода) линии;
- при замене защитных аппаратов (предохранителей, автоматических выключателей);
- при проверке чувствительности и селективности защитных аппаратов.

Возможны также и другие случаи, когда вследствие изменения условий эксплуатации требуется выполнять расчеты токов к. з.

1.2. Коротким замыканием называется нарушение нормальной работы электроустановки, вызванное замыканием фаз между собой, а в системах с заземленной нейтралью также замыканием фаз на землю.

1.3. Короткие замыкания в электроустановках возникают в результате пробоев и перекрытий изоляции электрооборудования, набросов, ошибочных действий персонала и по многим другим причинам.

При к.з. токи в фазах установки увеличиваются по сравнению с их номинальными значениями, а напряжения снижаются.

1.4. В трехфазной электрической сети 0,4кВ, работающей с глухо-заземленной нейтралью, возможны к.з.:

- трехфазное;
- двухфазное;
- двухфазное на землю;
- однофазное.

1.5. Для прохождения тока однофазного к. з., необходимо, чтобы на участке сети 0,4кВ, где произошло повреждение, была заземлена нулевая точка трансформатора 6-10/0,4кВ, электрически связанная с местом к.з.

1.6. Как правило, в месте к.з. возникает электрическая дуга, которая вместе с сопротивлением элементов, через которые проходит ток к.з., образует переходное сопротивление. Непосредственное короткое замыкание без переходного сопротивления в месте повреж-

дения называется металлическим к.з. Поскольку величину переходного сопротивления определить практически невозможно, оно обычно не учитывается. Пренебрежение переходным сопротивлением значительно упрощает расчет и дает максимально возможную при одних и тех же исходных условиях величину тока к.з.

1.7. Аппараты защиты сети 0,4кВ должны обеспечивать отключение аварийного участка при к.з. в конце защищаемой линии. Это требование (в конце линии) объясняется тем, что чем дальше место к.з. от начала линии, тем меньше ток к.з., из-за чего при длинных линиях величина его может оказаться недостаточной для перегорания предохранителей или отключения автоматического выключателя, или время отключения тока к.з. недопустимо затянется.

2. Расчет тока к. з. в электрических сетях 0,4кВ

2.1. Расчет токов к.з. ведется в следующей последовательности:

- составляется полная схема рассматриваемого участка сети с указанием длин линий, материала и сечения проводов, кабелей, данных трансформаторов;

- для каждого элемента (линия, трансформатор) определяются его активное и индуктивное сопротивление;

- намечаются точки к.з. исходя из требований чувствительности и селективности аппаратов защиты;

- определяются суммарные активные и индуктивные сопротивления участка сети между шинами питающей подстанции и местом к.з.;

- определяется ток в месте к.з.;

- проверяется чувствительность и селективность аппаратов защиты в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ).

2.2. Определение сопротивлений элементов сети:

2.2.1. Трансформатора:

- Полное сопротивление

$$Z_T = \frac{10U_k U_H^2}{S_T},$$

где Z_T – полное сопротивление трансформатора, Ом;

U_H – номинальное линейное напряжение, 0,4кВ;

S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА;

U_K – напряжение короткого замыкания, %.

– Активное сопротивление трансформатора

$$R_T = \frac{\Delta P_M U^2_H}{S_T^2}, \quad \text{Ом}$$

где ΔP_M – потери в меди обмоток трансформатора, Вт.

(Все необходимые данные для расчетов указываются в заводском паспорте трансформатора и в справочных материалах).

– Индуктивное сопротивление трансформатора (X_T) определяется по выражению

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad \text{Ом}$$

– Полное сопротивление трансформатора при однофазном к. з. ($Z_T^{(1)}$) (В большинстве случаев, определяется опытным путем и приводится в справочных материалах).

2.2.2. Линии 0,4кВ:

а) Для воздушных и кабельных линий из цветных материалов (медь, алюминий) активное сопротивление проще всего определять по справочным данным, составленным на основании соответствующих ГОСТ.

б) Активное сопротивление стальных проводов зависит от конструкции провода и значения протекающего по нему тока. Зависимость эта сложная и математическому расчету не поддается. Поэтому активное сопротивление стальных проводов определяется по опытным данным и приводится в справочных материалах.

в) Индуктивное сопротивление воздушных линий из цветных материалов зависит от сечения и конструктивного расположения проводов на опоре. Для различных марок проводов и среднего геометрического расстояния между ними для определения индуктивного сопротивления составлены по опытным данным справочные таблицы или кривые.

г) При расчете трехфазных и двухфазных токов к. з. на воздушных линиях среднее расчетное геометрическое расстояния (D_{CP}) между фазными проводами определяется по выражению

$$D_{CP} = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}, \quad \text{, (мм)}$$

где:

D_{12} – расстояние между первым и вторым проводом;

D_{23} – расстояние между вторым и третьим проводом;

D_{31} – расстояние между третьим и первым проводом.

Эти величины определяются по чертежам опор.

При выполнении приближенных расчетов можно пользоваться средним значением удельного индуктивного сопротивления для ВЛ-0,4кВ, равным 0,3 Ом/км.

д) Индуктивное сопротивление стальных проводов состоит из двух составляющих – внутреннего и внешнего.

Внутреннее индуктивное сопротивление зависит от величины тока, протекающего по проводу. Зависимость эта сложная, математическому расчету не поддается и определяется по опытным данным, как и для активного сопротивления.

Внешнее индуктивное сопротивление не зависит от значения тока и определяется также, как и для проводов из цветных металлов. Рекомендуется пользоваться справочными материалами, в которых приведены таблицы или кривые зависимости сопротивления от сечения провода и среднего расчетного геометрического расстояния между проводами.

Расчет тока к.з. на линиях со стальными проводами выполняется методом последовательных приближений. Предварительно задаются ожидаемым током, для этого значение определяют активные и внутренние индуктивные сопротивления проводов, по $D_{ср}$ определяется внешнее индуктивное сопротивление, и по этим данным рассчитывают ток к.з.

Полученное значение тока сравнивают со значением, для которого определялись сопротивления. Если разница не превышает 5-10%, расчет заканчивается. Если разница велика, то расчет повторяется, причем сопротивления определяют для нового значения тока, полученное при первом расчете. Так поступают до тех пор, пока результаты совпадут с точностью до 5-10% значения токов.

е) Индуктивные сопротивления кабелей рассчитываются трудно, так как конструкции их различны. Поэтому активные и индуктивные сопротивления кабелей следует брать по справочникам. Для приближенных вычислений можно принимать индуктивное сопротивление кабелей 0,4кВ с сечением 16-240 мм², равным 0,06 Ом/км.

ж) При вычислении тока однофазного к. з. в сетях 0,4кВ с глухозаземленной нейтралью полное сопротивление цепи "фаза-нуль" состоит из сопротивлений фазного и нулевого проводов (Z_n).

Для воздушных линий 0,4кВ, выполненных на крюках или траверсах, расстояния между фазным и нулевым проводом различные, поэтому и индуктивные сопротивления разных фаз различные. Расстояние определяется по чертежам опор. Для линий на крюках это расстояние обычно колеблется в пределах 500-1000 мм, для линий на траверсах — в пределах 1250-1650 мм.

Полные сопротивления цепи "фаза-нуль" для различных сечений фазного и нулевого провода и различных расстояний между ними приведены в справочных материалах, составленных на основании опытных измерений.

По справочным материалам также определяются полные сопротивления цепи "фаза-нуль" для трех- и четырехжильных кабелей.

Полное сопротивление цепи "фаза-нуль" линии 0,4 кВ, состоящей из участков, выполненных различным сечением проводов фазного и нулевого, и расстояние между ними определяется как сумма полных сопротивлений отдельных участков $Z_n = Z_{01}l_1 + Z_{02}l_2 + Z_{03}l_3 + \dots$

з) При расчетах токов к.з. в сетях 0,4кВ в некоторых случаях приходится учитывать активные и индуктивные сопротивления шин, обмоток трансформаторов тока и реле, автоматических выключателей и защит от однофазных к.з., переходные сопротивления в контактах рубильников, выключателей, предохранителей.

Точные данные для некоторых конструкций можно найти только в заводской документации и справочных материалах. Для приближенных вычислений можно пользоваться средними значениями сопротивлений, приведенных в таблицах (приложения 7,8,9).

Необходимо отметить, что количество различных конструкций этих аппаратов очень велико, точные значения их сопротивлений найти трудно, а абсолютная величина их по сравнению с сопротивлениями силовых трансформаторов и линий мала. Поэтому во многих случаях они не учитываются.

2.3. Приведение сопротивлений к расчетному напряжению.

Электрические сети 0,4кВ с электрическими сетями 6-10кВ связаны между собой трансформаторами 6-10/0,4кВ.

Поэтому при расчетах токов короткого замыкания, при составлении схем замещения необходимо привести все сопротивления, нахо-

дящиеся на разных сторонах трансформатора, к одному напряжению — расчетному.

За расчетное напряжение обычно принимается то напряжение, на котором установлено устройство защиты (выключатель 10кВ, предохранители 10кВ, предохранители и автоматические выключатели 0,4кВ).

Пересчет сопротивлений элементов электрической сети 0,4кВ к напряжению 6-10кВ производится по выражениям:

$$Z_{10} = Z_{0,4} \left(\frac{U_{10}}{U_{0,4}} \right)^2 = Z_{0,4} \cdot \left(\frac{10}{0,4} \right)^2 = 625 Z_{0,4}$$

$$Z_6 = Z_{0,4} \left(\frac{U_6}{U_{0,4}} \right)^2 = Z_{0,4} \cdot \left(\frac{6}{0,4} \right)^2 = 225 Z_{0,4}$$

Пересчет сопротивлений элементов электрической сети 6-10кВ к напряжению 0,4кВ производится по выражениям:

$$Z_{0,4} = Z_{10} \left(\frac{U_{0,4}}{U_{10}} \right)^2 = Z_{10} \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,0016 Z_{10}$$

$$Z_{0,4} = Z_6 \left(\frac{0,4}{6} \right)^2 = 0,0044 Z_6$$

Таким образом, любое сопротивление, включенное через трансформатор, можно измерять с любой стороны трансформатора — или с той стороны, где оно действительно включено и получит сразу его действительное значение, или с другой стороны, но в этом случае действительное значение получается путем пересчета по вышеприведенным выражениям.

3. Расчетные формулы для определения токов к.з. в сетях 0,4кВ

3.1. Ток трехфазного к.з. определяется по выражению:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_\lambda}{\sqrt{3}(Z_C + Z_K)}, \quad (A)$$

где :

Z_c – сопротивление системы, приведенное к напряжению 0,4кВ, Ом;

Z_k – расчетное сопротивление до места повреждения, Ом;

$U_{\text{л}}$ – расчетное междуфазное (линейное) напряжение сети, В (0,4кВ для выбора автоматических выключателей, 0,38кВ – для проверки чувствительности защит).

Полное сопротивление системы представляет собой результирующее сопротивление сети 10кВ и выше энергосистемы.

Величина полного сопротивления определяется довольно сложными расчетами, которые выполняются с помощью ПЭВМ по специальным программам.

При расчетах токов короткого замыкания в сетях 0,4кВ сопротивления системы и питающей сети 10кВ обычно не учитываются.

Расчетное выражение определения тока трехфазного к.з. принимает вид:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}(Z_T + Z_{\text{л}})} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}\left(Z_T + \sqrt{R_{\text{л}}^2 + X_{\text{л}}^2}\right)}, \text{ А}$$

где:

Z_T – полное сопротивление трансформатора 10/0,4кВ, Ом;

$Z_{\text{л}}$ – полное сопротивление одной фазы линии, Ом;

$U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети, В;

$R_{\text{л}}, X_{\text{л}}$ – активное и индуктивное сопротивления линии, Ом;

$$R_{\text{л}} = R_0 \cdot L$$

$$X_{\text{л}} = X_0 \cdot L$$

где:

R_0, X_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления линии, Ом/км;

L – длина линии, км.

При расчете трехфазного тока к.з. можно использовать выражение:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_{\text{л}})^2 + (X_T + X_{\text{л}})^2}}, \quad \text{А}$$

где:

R_T, X_T – активное и индуктивное сопротивления трансформатора, Ом.

При определении тока трехфазного к.з. на выводах 0,4кВ трансформатора, расчетное выражение принимает вид:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_d}{\sqrt{3}Z_T} = \frac{U_d \cdot S_H}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot U_K U_{НОМ}^2} = \frac{I_{НОМ}}{U_K} \cdot 100, \quad \text{А}$$

где:

$I_{НОМ}$ – номинальный ток трансформатора на стороне 0,4кВ, А;

U_K – напряжение короткого замыкания, %.

3.2. Ток двухфазного к.з. определяется по выражению:

$$I_K^{(2)} = \frac{U_d}{2Z_K} = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{Z_K} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} = 0,867 I_K^{(3)}, \quad \text{А}$$

3.3. Ток однофазного к.з. определяется по выражению:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_H}, \quad \text{А}$$

где $Z_T^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора при однофазном к.з., Ом;

Z_H – полное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом.

$Z_H = Z_0 l$

Z_0 – удельное сопротивление цепи "фаза-нуль", Ом/км

l – длина цепи «фаза-нуль» (в однопроводном измерении), км;

3.4. При расчете токов к.з. для проверки чувствительности выбранных защитных аппаратов, необходимо учитывать переходное сопротивление электрической дуги, которое принимается равным 0,015 Ом.

Пример 1. Определить токи трехфазного к. з. в конце ВЛ-0,4кВ, выполненной проводом А-50, расстояние между проводами 0,8м. Длина ВЛ – 600м, запитана от трансформатора 10/0,4кВ мощностью 100кВА.

Решение:

1. Активное сопротивление ВЛ

$$R_d = R_0 L = 0,576 \cdot 0,6 = 0,3456 \text{ Ом}$$

2. Индуктивное сопротивление ВЛ

$$X_L = X_0 L = 0,348 \cdot 0,6 = 0,21 \text{ Ом}$$

3. Полное сопротивление ВЛ:

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{0,3456^2 + 0,21^2} = 0,404 \text{ Ом}$$

4. Сопротивление трансформатора 100кВА

$$R_T = 0,0315 \text{ Ом}$$

$$X_T = 0,0647 \text{ Ом}$$

$$Z_T = 0,072 \text{ Ом}$$

5. Ток трехфазного к.з. в конце линии, определяется по формуле:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \sqrt{(R_T + R_L)^2 + (X_T + X_L)^2}}$$

$$I_K^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{(0,0315 + 0,3456)^2 + (0,0647 + 0,21)^2}} = 495,7 \text{ А}$$

6. Ток трехфазного к.з. в конце линии, определяемый по формуле:

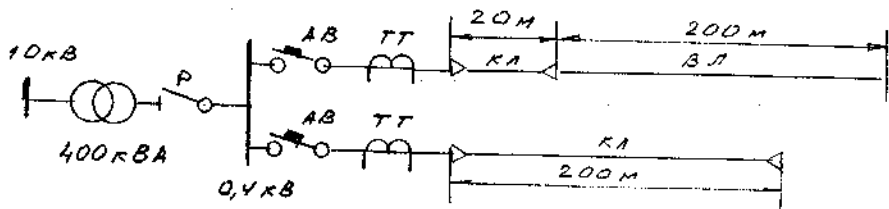
$$I_K^{(3)} = \frac{U_L}{\sqrt{3} (Z_T + Z_L)} = \frac{400}{\sqrt{3} (0,072 + 0,404)} = 485,3 \text{ А}$$

7. Разность в расчетах составляет 1,3%.

3.6. Пример 2. Питающий трансформатор 400кВА, 10/0,4кВ, соединен со сборкой 0,4кВ алюминиевыми шинами сечением 50х5мм. Шины расположены в одной плоскости, расстояние между ними 240мм. Общая длина шин от выводов трансформатора до автоматических выключателей отходящих линий 15м. На стороне 0,4кВ установлен рубильник Р на 600А, на отходящих линиях автоматические выключатели АВ на 200А и трансформаторы тока 200/5А.

Кабельная линия длиной 200м выполнена алюминиевым кабелем сечением 3х70+1х35мм². Воздушная линия длиной 200м выполнена алюминиевыми проводами 3х70+1х35мм² и соединена со сборкой 0,4кВ алюминиевым кабелем 3х70+1х35мм².

Определить токи трехфазного и однофазного к.з. в конце воздушной и кабельной линии.



Решение:

1. Среднее геометрическое расстояние между шинами

$$D_{ср} = \sqrt[3]{240 \cdot 240 \cdot 480} = 1,26 \cdot 240 = 300 \text{ мм}$$

По приложению 7 активное сопротивление шин $R = 0,142 \cdot 15 = 2,12 \text{ мОм}$, индуктивное $X = 0,2 \cdot 15 = 3 \text{ мОм}$.

2. Активное сопротивление контактов рубильника по приложению 8 равно $0,15 \text{ мОм}$.

3. Активное сопротивление контактов и обмоток расцепителей автоматических выключателей по приложению 8 равно $0,36 + 0,6 = 0,96 \text{ мОм}$, индуктивное – $0,28 \text{ мОм}$.

4. Активное сопротивление обмоток одного трансформатора тока по приложению 9 равно $0,19 \text{ мОм}$, индуктивное – $0,17 \text{ мОм}$.

5. Активное сопротивление обмоток трансформатора 400 кВА , отнесенное к $0,4 \text{ кВ}$ по приложению 10 равно $5,5 \text{ мОм}$, индуктивное – $17,1 \text{ мОм}$, полное сопротивление при однофазном к. з. – $0,195 \text{ Ом}$.

6. Активное сопротивление фазы кабеля $3 \times 70 + 1 \times 35 \text{ мм}^2$ по приложению 3 равно $0,549 \times 0,2 = 0,1098 \text{ Ом}$ ($109,8 \text{ мОм}$), индуктивное – $0,065 \times 0,2 = 0,013 \text{ Ом}$ (13 мОм).

7. Для воздушной линии:

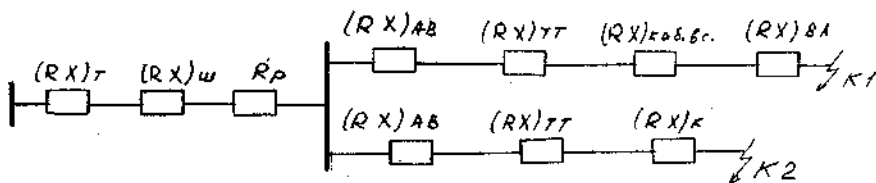
активное сопротивление по приложению 1 равно $0,412 \times 0,2 = 0,0824 \text{ Ом}$ ($82,4 \text{ мОм}$)

индуктивное при $D_{ср} = 800 \text{ мм}$ по приложению 2 равно $0,33 \times 0,2 = 0,066 \text{ Ом}$ (66 мОм).

8. Сопротивления кабеля длиной 20 м равны:

активное – $0,549 \times 0,02 = 0,01098 \text{ Ом}$ ($10,98 \text{ мОм}$) и индуктивное $0,065 \times 0,02 = 0,0013 \text{ Ом}$ ($1,3 \text{ мОм}$).

9. Схема замещения:



10. Ток трехфазного к.з. в конце воздушной линии (K1)

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}} =$$

$$= \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}\sqrt{(5,5+2,12+0,08+0,96+0,19+10,98+82,4)^2 + (17,1+3+0,28+0,17+1,3+66)^2}} =$$

$$= 1714 \text{ A,}$$

где:

R и X в мОм.

Если пренебречь сопротивлениями шин и аппаратуры, то ток к.з. будет равен:

$$I_K^{(3)} = \frac{400 \cdot 1000}{\sqrt{3}\sqrt{(5,5+10,98+82,4)^2 + (17,1+1,3+66)^2}} = 1777 \text{ A}$$

Разница результатов двух расчетов составляет 3,7%. Поэтому во многих случаях при расчете токов к. з. на воздушных линиях 0,4кВ сопротивлением шин и аппаратуры можно пренебречь.

11. Ток трехфазного к.з. в конце кабельной линии (K2):

$$I_K^{(3)} = \frac{400 \cdot 1000}{\sqrt{3}\sqrt{(5,5+2,12+0,08+0,96+0,19+109,8)^2 + (17,1+3+0,28+0,17+13)^2}} =$$

$$= 1873,5 \text{ A}$$

Если пренебречь сопротивлениями шин и аппаратуры, то ток к.з. будет равен:

$$I_K^{(3)} = \frac{400 \cdot 1000}{\sqrt{3} \sqrt{(5,5 + 109,8)^2 + (17,1 + 13)^2}} = 1938 \text{ A}$$

Разница результатов двух расчетов составляет 3,5%.

12. Сопротивление петли "фаза-нуль" воздушной линии при расстоянии между фазным и нулевым проводами 1 м по приложению 4 равно $1,82 \times 0,2 = 0,364 \text{ Ом}$. Сопротивление четырехжильного кабеля по приложению 5 равно $1,59 \times 0,2 = 0,318 \text{ Ом}$.

13. Ток однофазного к.з. в конце воздушной линии (K1):

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_n} = \frac{231}{\frac{0,195}{3} + 0,364} = 545 \text{ A}$$

14. Ток однофазного к.з. в конце кабельной линии (K2):

$$I_K^{(1)} = \frac{231}{\frac{0,195}{3} + 0,318} = 603 \text{ A}$$


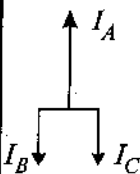


3.6. Значения токов однофазного к.з. в зависимости от мощности трансформатора, протяженности и сечения проводов ВЛ-0,4кВ приведены в приложении 21.

4. Распределение токов при несимметричных к. з. за трансформатором, имеющим схему соединения обмоток "звезда-звезда" с заземленным нулем

4.1. Для проверки селективности предохранителей, установленных на стороне 6-10кВ трансформаторов 6-10/0,4кВ, необходимо знать значения токов в первичной обмотке трансформатора при к.з. на его вторичной стороне.

Расчеты приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Вид к. з. на стороне 0,4кВ	Ток к.з., А			
	в месте к. з.		на первичной стороне трансформатора	
а-О		$I_a = \frac{U_\phi}{Z_T^{(1)}/3}$		$I_A = \frac{2}{3} I_a \cdot \frac{U_{2H}}{U_{1H}}$ $I_B = I_C = \frac{1}{3} I_a \cdot \frac{U_{2H}}{U_{1H}}$
в-С		$I_a = I_c = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)}$		$I_B = I_C = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} \cdot \frac{U_{2H}}{U_{1H}}$

где U_{1H} , U_{2H} – номинальные линейные напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора;

U_ϕ – фазное напряжение вторичной обмотки (231В).

4.2. Пример 3. Определить токи трехфазного, двухфазного и однофазного к.з. на выводах низшего напряжения трансформатора 400кВА 10/0,4кВ при схеме соединения обмоток Y/Y₀.

Решение:

1. Сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению 0,4кВ по приложению 10 равно 0,018 Ом.

2. Полное сопротивление трансформатора при однофазном к.з. по приложению 10 равно 0,195 Ом.

3. Ток трехфазного к.з.

$$I_K^{(3)} = \frac{U_\Delta}{\sqrt{3} \cdot Z_T} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,018} = 12900 \text{ А}$$

4. Ток двухфазного к.з.

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12900 = 11200 \text{ A}$$

5. Ток двухфазного и трехфазного к.з. со стороны 10кВ

$$I_K^{(3)} = 12900 \cdot \frac{0,4}{10} = 516 \text{ A}$$

$$I_K^{(2)} = 11200 \cdot \frac{0,4}{10} = 448 \text{ A}$$

6. Ток однофазного к.з.

$$I_K^{(1)} = \frac{231}{0,195/3} = 3570 \text{ A}$$

Со стороны 10кВ максимальный ток будет равен $\frac{2}{3} \cdot 3570 \cdot \frac{0,4}{10} = 95,2 \text{ A}$, в двух других фазах токи в 2 раза меньше и равны 47,6А.

5. Расчет напряжений при коротких замыканиях.

Для сети с односторонним питанием междуфазные напряжения при трехфазном к.з. равны:

$$U^{(3)} = \sqrt{3} I^{(3)} Z,$$

где $I^{(3)}$ – ток трехфазного к.з., А;

Z – сопротивление от точки к.з. до места определения остаточного напряжения, Ом/фазу.

При двухфазном к.з. выражение принимает вид

$$U^{(2)} = \sqrt{3} I^{(2)} Z,$$

где $U^{(2)}$ – междуфазное напряжение между поврежденными фазами.

Напряжение между "здоровой" и поврежденной фазами всегда будет $U^{(2)}$ и никогда не снижается ниже 0,867 нормального напряжения.

Подставив в выражение $I^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I^{(3)}$ получим:

$$U^{(2)} = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} I^{(3)} Z = \sqrt{3} I^{(3)} Z,$$

т.е. расчеты остаточных напряжений достаточно вести для трехфазного к.з., если не требуется определять напряжение между "здоровой" и поврежденными фазами при двухфазном к.з.

6. Общие требования к аппаратам защиты электрических сетей 0,4кВ

6.1. Аппаратом защиты называется аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при ненормальных режимах (п.3.1.2 ПУЭ).

6.2. Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока к.з. в начале защищаемого участка электрической сети (п.3.1.3 ПУЭ).

6.3. 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, токи при самозапуске и т.п.) (п.3.1.4 ПУЭ).

6.4. В качестве аппаратов защиты должны применяться автоматические выключатели или предохранители. Для обеспечения требований по быстродействию, чувствительности или селективности, допускается при необходимости применение устройств защиты с использованием выносных реле (п.3.1.5 ПУЭ).

6.5. Электрические сети должны иметь защиту от токов к.з., обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности.

Защита должна обеспечивать в сетях с глухозаземленной нейтралью отключение поврежденного участка при к.з. в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазные (п.3.1.8 ПУЭ).

Надежное отключение поврежденного участка сети обеспечивает если наименьший расчетный ток к.з. будет превышать не менее чем:

- в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя;

предназначен. Действительное напряжение сети не должно превышать номинального напряжения предохранителя больше, чем на 10%.

Большинство типов предохранителей могут работать и при напряжении сети меньшим номинального, но основные данные их при этом изменяются, что указывается в информации завода-изготовителя.

Номинальным током предохранителя называется указанный на нем ток, равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя, практически это максимальный длительный ток, пропускаемый предохранителем по условию нагрева его деталей, кроме вставок.

Максимальным отключаемым током (разрывной способностью) предохранителя называется наибольшее значение (эффективное) периодической составляющей тока, отключаемого предохранителем без разрушения и опасного выброса пламени и продуктов горения электрической дуги.

Номинальным током плавкой вставки предохранителя называется указанный на нем ток, для продолжительной работы при котором он предназначен.

Защитной характеристикой предохранителя называется зависимость полного времени отключения (суммы времени плавления вставки и времени горения дуги) от величины отключаемого тока. Защитные характеристики обычно даются в виде графика, в прямоугольных координатах.

По вертикальной оси координат (у) откладывается среднее время перегорания плавкой вставки, а по горизонтальной оси (х) – отключаемый ток или кратность тока, отключаемого предохранителем, к номинальному току вставки. Действительное время отключения может значительно отличаться от средних значений, указываемых заводом-изготовителем на защитных характеристиках. Опытным путем установлено, что в крайних случаях при совпадении всех неблагоприятных факторов, влияющих на величину времени отключения, отклонения действительного времени отключения от заводских данных предохранителей до 1000В может достигать до $\pm 50\%$. Такой разброс применяется при проверке селективности в особо ответственных целях, где неселективная работа недопустима.

В наиболее распространенных случаях обычно принимается разброс в значениях времен отключения $\pm 25\%$. При этом допускается в редких случаях возможность неселективной работы предохранителей.

– в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющих только электромагнитный расцепитель (отсечку), ток должен быть не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс по (заводским) данным для автоматических выключателей и на коэффициент запаса, равный 1,1.

При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100А, кратность тока к.з. относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А – не менее 1,25 (п.3.1.8, 3.1.7.79 ПУЭ).

6.6. При защите сетей предохранителями последние должны устанавливаться на всех нормально незаземленных проводниках (фазах). Установка предохранителей в нулевом рабочем проводнике запрещается (п. 3.1.17 ПУЭ).

6.7. При защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматическими выключателями расцепители их должны устанавливаться во всех нормально незаземленных проводниках (фазах) (п.3.1.17 ПУЭ).

7. Защита электрических сетей 0,4кВ предохранителями

7.1 Основные данные предохранителей, проверка их селективности и чувствительности.

7.1.1. Для расчета защиты сетей и оборудования, выполненной с помощью главных предохранителей, необходимы следующие данные:

- номинальное напряжение предохранителя;
- максимальный ток короткого замыкания, отключаемый предохранителем;
- номинальный ток предохранителя;
- номинальный ток плавкой вставки предохранителя;
- минимальный ток однофазного короткого замыкания (для проверки чувствительности и селективности);
- защитная (время-токовая) характеристика предохранителя.

Номинальным напряжением предохранителя называется указанное на нем напряжение, для продолжительной работы при котором он

предназначен. Действительное напряжение сети не должно превышать номинального напряжения предохранителя больше, чем на 10%.

Большинство типов предохранителей могут работать и при напряжении сети меньшим номинального, но основные данные их при этом изменяются, что указывается в информации завода-изготовителя.

Номинальным током предохранителя называется указанный на нем ток, равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя, практически это максимальный длительный ток, пропускаемый предохранителем по условию нагрева его деталей, кроме вставок.

Максимальным отключаемым током (разрывной способностью) предохранителя называется наибольшее значение (эффективное) периодической составляющей тока, отключаемого предохранителем без разрушения и опасного выброса пламени и продуктов горения электрической дуги.

Номинальным током плавкой вставки предохранителя называется указанный на нем ток, для продолжительной работы при котором он предназначен.

Защитной характеристикой предохранителя называется зависимость полного времени отключения (суммы времени плавления вставки и времени горения дуги) от величины отключаемого тока. Защитные характеристики обычно даются в виде графика, в прямоугольных координатах.

По вертикальной оси координат (y) откладывается среднее время перегорания плавкой вставки, а по горизонтальной оси (x) – отключаемый ток или кратность тока, отключаемого предохранителем, к номинальному току вставки. Действительное время отключения может значительно отличаться от средних значений, указываемых заводом-изготовителем на защитных характеристиках. Опытным путем установлено, что в крайних случаях при совпадении всех неблагоприятных факторов, влияющих на величину времени отключения, отклонения действительного времени отключения от заводских данных предохранителей до 1000В может достигать до $\pm 50\%$. Такой разброс применяется при проверке селективности в особо ответственных целях, где неселективная работа недопустима.

В наиболее распространенных случаях обычно принимается разброс в значениях времен отключения $\pm 25\%$. При этом допускается в редких случаях возможность неселективной работы предохранителей.

Для проверки селективности заводские характеристики перестраиваются в расчетные, как показано на рис. 1:

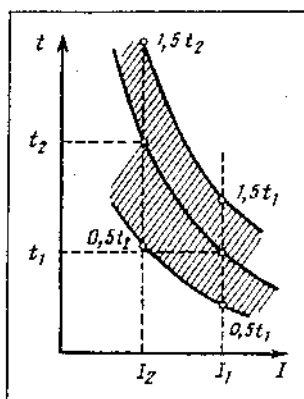


Рис. 1. Построение расчетных характеристик предохранителей на напряжение до 1000В.

По заводской характеристике при произвольных значениях тока I_1 , I_2 определяются средние времена отключения t_1 , t_2 .

Если требуется особо надежная селективность, то величины t_1 и t_2 увеличивают и уменьшают на 50%.

Задаваясь другими значениями токов, строят область, ограниченную двумя кривыми.

В пределах этой области лежат возможные значения полного времени отключения.

Для обычных случаев, когда за основу принимается разброс $\pm 25\%$, построения производятся аналогично, используя для этого величины $1,25t$ и $0,75t$.

7.1.2. Пример 4. Проверить селективность плавких вставок на 31,5 и 40А предохранителя ПН2.

Решение: Задаемся разбросом $\pm 50\%$. По заводским характеристикам определяются величины t и $1,5t$ для вставки 31,5А, t и $0,5t$ для вставки 40А при токах 100, 200, 500, 1000А.

Для удобства расчет сводится в таблицу 2.

Таблица 2

Ток, А			100	200	500	1000
Время отключения, сек.	Вставка на 31,5А	t	8	0,15	0,02	0,012
		1,5 t	12	0,225	0,03	0,018
	Вставка на 40А	t	50	0,8	0,035	0,012
		0,5 t	25	0,4	0,0175	0,006

Из таблицы видно, что селективность рассматриваемых вставок обеспечивается при токах 100, 200А и не обеспечивается при токах 500А и более.

При разбросе $\pm 25\%$ и повторении вычислений результат представлен в таблице 3.

Таблица 3

Ток, А			100	200	500	1000
Время отключения, сек.	Вставка на 31,5А	t	8	0,15	0,02	0,012
		1,25 t	10	0,187	0,025	0,015
	Вставка на 40А	t	50	0,8	0,035	0,012
		0,75 t	37,5	0,6	0,026	0,009

Как видно из таблицы, селективность обеспечивается при токе меньше 500А.

7.1.3. Для характеристик однотипных предохранителей можно сделать практические выводы:

- при уменьшении разброса область селективной работы расширяется в сторону больших значений токов;
- если обеспечивается селективность при одном каком-либо значении тока, то селективность обеспечивается и при всех меньших значениях токов;
- для проверки селективности во всем диапазоне токов достаточно проверить её при наибольшем токе, проходящем через вставку с меньшим номинальным током;
- в сетях напряжением до 1000В селективность следует проверять при трехфазном токе короткого замыкания, когда ток имеет наибольшее значение.

Для проверки селективности вставок однотипных предохранителей на напряжение до 1000В можно пользоваться следующими уравнениями:

$1,5t_{\text{м}} < 0,5t_{\text{в}}$ или $t_{\text{в}} > 3t_{\text{м}}$ (при разбросе $\pm 50\%$)

$1,25t_{\text{м}} < 0,75t_{\text{в}}$ или $t_{\text{в}} > 1,7t_{\text{м}}$ (при разбросе $\pm 25\%$),

где $t_{\text{м}}$, $t_{\text{в}}$ – время отключения тока короткого замыкания вставкой с меньшими и большим номинальными токами при токе трехфазного к.з. в месте установки вставки с меньшим номинальным током.

У разнотипных предохранителей селективность должна проверяться не по одной точке, а по всему диапазону токов – от тока трехфазного к.з. в месте установки дальнего от источника питания предохранителя до номинального тока вставок.

7.1.4. Пример 5. Ближе к месту к.з. установлен ПН2 на 80А, ближе к источнику питания установлен предохранитель ПР на 100А. Проверить их селективность.

Решение: По заводским характеристикам определяем время отключения для токов 200, 300, 350, 500, 1000, 1500А: результаты сведены в таблице 4.

Таблица 4

Ток, А		200	300	350	500	1000	1500
Время отключения сек.	ПР	25	3,5	2	0,55	0,075	0,085
	ПН2	50	5	2	0,25	0,045	0,015

Из таблицы видно, что даже без учета разброса селективность обеспечивается только при токах к.з. выше 350А.

7.1.5. Если защитные характеристики плавких вставок неизвестны, рекомендуется метод проверки селективности по отношению сечений вставок с поправкой на материал вставки и конструкцию предохранителя. Однако этот метод сложен и практически не применяется.

7.1.6. Номинальные токи вставок следует проверять на чувствительность при коротких замыканиях. В соответствии с требованиями ПУЭ (п.3.1.8, 1.7.79) минимальный ток к.з. в конце защищаемой зоны должен быть больше номинального тока вставки не менее чем в 3 раза.

Для сетей с заземленной нейтралью расчетный вид короткого замыкания – однофазное, в сетях с изолированной нейтралью – двухфазное.

7.1.7. Если предохранители защищают участок сети только от токов к.з. то согласно ПУЭ (п.3.1.9) допускается не проверять чувстви-

тельность предохранителей при коротких замыканиях, если номинальный ток вставки превышает длительно допустимый ток нагрузки для защищаемого проводника не более чем в 3 раза.

Одно из условий выбора предохранителя – величина отключаемого им тока к.з.

7.1.8. Пример 6. Выбрать минимально допустимые по отключаемому току к.з. предохранители для защиты линий 0,4 кВ, отходящих от шин, питающихся от трансформатора 250 кВА.

Решение:

Ток трехфазного к.з. на выводах 0,4 кВ равен:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}Z_T} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 28,8} = 8050 \text{ А.}$$

Проверяем возможность установки предохранителей типа ПР-2.

Для трансформатора 250 кВА на стороне 0,4 кВ должен быть установлен предохранитель с вставкой на 430А. Этому условию удовлетворяет предохранитель с номинальным током на 600А, его максимальный отключаемый ток равен 13000 для первого габарита и 23000А для второго габарита.

Предохранители типа ПН2 с номинальным током до 1000А имеют максимальный отключаемый ток 25000-50000А и практически могут устанавливаться на любые трансформаторы мощностью до 630 кВА включительно.

7.2. Защита воздушных линий 0,4 кВ предохранителями.

7.2.1. Согласно ПУЭ (п. 1.1.79) для сетей с заземленной нейтралью минимальный ток однофазного короткого замыкания в конце защищаемого участка должен быть по крайней мере в 3 раза больше номинального тока вставки.

$$I_{\text{сз}} \leq \frac{I_K^{(1)}}{3}$$

Необходимо отметить, что расчет тока короткого замыкания производится для металлического к.з. между фазным и нулевым проводом. При к.з. между фазным проводом и землей через большие переходные сопротивления (сухая земля, снег, заборы, сараи, деревья, кустарник) возможны отказы предохранителей.

Следует иметь в виду, что при однофазных к.з. время перегорания вставки может быть большим. Например, для предохранителей типа ПН2 время сгорания вставки при трехкратном токе к.з. будет порядка 15-20 сек.

7.2.2. Пример 7. От трансформатора 10/0,4 кВ 63 кВА питается воздушная линия длиной 0,4 км, выполненная алюминиевым проводом 3х50+25 (Расстояние между фазным и нулевым проводом – 0,4 м). Определить максимально допустимый по условию чувствительности номинальный ток вставки предохранителя ПН2 для защиты линии.

Решение:

1. Определяем величину тока однофазного к.з. в конце линии.

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_\Pi}$$

$$Z_T^{(1)} = 1,237 \text{ Ом}$$

$$Z_\Pi = 2,43 \cdot 0,4 = 0,972 \text{ Ом}$$

Удельное сопротивление цепи "фаза-нуль" (2,43 Ом/км) согласно приложению 4.

$$I_K^{(1)} = \frac{231}{\frac{1,237}{3} + 0,972} = 166,8 \text{ А}$$

Ближайший номинальный ток вставки предохранителя ПН2 равен 50А.

Трансформатор 63 кВА должен иметь для своей защиты на стороне 0,4 кВ предохранитель с номинальным током вставки не более 100А, т.е. селективность обеспечивается.

7.2.3. Требования отстройки от нагрузки и чувствительности прямо противоположны. Чтобы удовлетворить оба эти требования, в воздушных сетях 0,4 кВ применяются секционирующие предохранители, которые дополнительно устанавливаются в линии на некотором расстоянии от питающей подстанции. Поскольку по мере удаления от источника питания нагрузка уменьшается, номинальный ток вставки секционирующего предохранителя можно взять меньше, чем у предохранителя, установленного в начале линии. В результате чувстви-

тельность секционирующего предохранителя к токам к.з. в конце линии будет выше, чем у предохранителя, установленного в начале линии. Таким образом, сеть разбивается на ряд участков, каждый из которых защищен своим предохранителем, и при повреждении какого-либо участка отключится только этот участок, а остальная сеть остается в работе.

7.2.4. Пример 8. От трансформатора 10/0,4 кВ 63 кВА питается воздушная линия длиной 0,4 км, выполненная алюминиевым проводом 3х50+25. От конца линии отходит двухпроводное ответвление, «фаза-нуль» выполненное проводом 2х16.

Длина ответвления – 0,2 км.

Нагрузка ответвления 10А, а нагрузка в начале линии 50А. Нагрузка (освещение и быт) равномерно распределена по длине магистрали. Линия питает небольшой поселок с многоквартирными домами.

Решение:

1. Определяем ток однофазного к.з. в конце ответвления.

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_n}$$

$$Z_n = Z_{nm} + Z_{no}$$

где: $Z_{nm} = 2,46 \cdot 0,4 = 0,984 \text{ Ом}$ – полное сопротивление цепи "фаза-нуль" магистрали (приложение 4)

$Z_{no} = 4,87 \cdot 0,2 = 0,974 \text{ Ом}$ – полное сопротивление цепи "фаза-нуль" ответвления (приложение 4).

2. Для защиты от тока к.з. в конце ответвления необходим предохранитель с $I_{ac} \leq 97,5 \text{ А}$.

По условию отстройки от нагрузки (50А) предохранитель в начале линии должен иметь уставку не менее чем на 60А.

3. Проверяем возможность установки секционирующего предохранителя на ответвлении.

По условию отстройки от нагрузки (10А) минимально допустимый ток вставки должен быть не менее 10А.

По условию чувствительности максимальный допустимый ток вставки должен быть не более 30А.

Принимаем ток вставки предохранителей, установленных на вводе в помещение, нагрузки ответвления равным 10А.

По условию селективности (с учетом разброса $\pm 50\%$) уставка секционирующего предохранителя должна быть не менее 30 А.

4. Определяем длину магистрали, надежно, с чувствительностью не менее 3, защищаемую предохранителем с вставкой на 60А, установленным в начале линии ($I_K^{(1)} = 180\text{А}$).

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_\Pi}; \quad 180 = \frac{231}{\frac{1,237}{3} + Z_\Pi}; \quad Z_\Pi = 0,87\text{Ом}$$

По приложению 4 удельное сопротивление цепи равно 2,46 Ом/км, тогда

$$l = \frac{0,87}{2,46} = 0,35\text{км}$$

Ток нагрузки, проходящий по линии на расстоянии 0,35км, будет равен

$$\frac{40 \cdot 0,05}{0,4} + 10 = 15\text{А}$$

Величина эта состоит из нагрузки ответвления 10А и нагрузки оставшейся части магистрали длиной 0,05км и равной 5А.

По условию отстройки от нагрузки (15А) достаточно иметь вставку предохранителя на 20А.

Следовательно, целесообразно установить секционирующие предохранители на расстоянии 0,35км от трансформатора с номинальным током плавной вставки 31,5А (по условиям селективности с предохранителями, установленными на вводе в помещении нагрузки ответвления) и не устанавливать дополнительные предохранители непосредственно на ответвлении.

5. Для проверки селективности секционирующих предохранителей, с предохранителями, установленными на подстанции, необходимо определить токи трехфазного и однофазного к.з. в месте установки секционирующих предохранителей (на расстоянии 0,35км от начала линии).

Ток трехфазного к.з. равен

$$I_K^{(3)} = \frac{U_\Pi}{\sqrt{3} \sqrt{(R_T + R_\Pi)^2 + (X_T + X_\Pi)^2}}$$

где: $R_T = 0,053 \text{ Ом}$ $X_T = 0,101 \text{ Ом}$

$R_{\text{л}} = 0,576 \cdot 0,35 = 0,2 \text{ Ом}$

$X_{\text{л}} = 0,35 \cdot 0,35 = 0,1225 \text{ Ом}$

$$I_K^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{(0,053 + 0,2)^2 + (0,101 + 0,1225)^2}} = 679,4 \text{ А}$$

Ток однофазного к.з. равен 180А (по условию проверки чувствительности предохранителей с номинальным током плавной вставки 60А).

При токе к.з., равным 679,4А, время отключения вставками составит:

– вставкой 31,5А – 0,015сек.

– вставкой 60А – 0,045сек.

$$\frac{t_{60}}{t_{31,5}} = \frac{0,045}{0,015} = 3$$

т.е. селективность обеспечивается с учетом разброса $\pm 50\%$.

При токе к.з., равным 180А, время отключения вставками составит:

– вставкой 31,5А – 0,2сек.

– вставкой 60А – 18 сек.

$$\frac{t_{60}}{t_{31,5}} = \frac{18}{0,2} = 90 > 3, \text{ т.е. селективность обеспечивается.}$$

8. Защита трансформаторов 6-10/0,4кВ предохранителями

8.1. На стороне 6-10кВ трансформаторов устанавливаются кварцевые предохранители типа ПК (ПКТ), а на стороне 0,4кВ – кварцевые предохранители типа ПН2.

8.2. Номинальный ток плавких вставок предохранителей выбирается из условий несрабатывания при допустимых перегрузках трансформатора и при работе трансформатора в режиме холостого хода (отстройка от бросков тока намагничивания, которые в течение небольшого промежутка времени могут в несколько раз превосходить номинальный ток трансформатора); селективности по отношению к другим защитным аппаратам и их между собой; и

– обеспечения необходимой чувствительности с током короткого замыкания в основной зоне и в зонах дальнего резервирования.

8.3. На основании опытных данных рекомендуется выбирать номинальные токи плавких вставок предохранителей следующими:

– на стороне 6-10кВ

$$I_{\text{ес}} \approx 2I_{\text{ном. тр. в. н}}$$

– на стороне 0,4кВ

$I_{\text{ес}} \approx I_{\text{ном. тр. в. н.}}$ (при условии, что трансформатор работает без длительных перегрузок).

Предохранители на стороне низкого напряжения защищают трансформатор от перегрузок и резервируют защитные аппараты отходящих линий 0,4кВ при коротких замыканиях в сети этого напряжения.

Предохранители на стороне высокого напряжения защищают трансформатор только от коротких замыканий на его выводах высокого напряжения и частично от внутренних повреждений.

Рекомендуемые значения номинальных токов плавких вставок предохранителей приведены в приложении 11.

При установке предохранителей согласно приложению 11 обеспечиваются все условия выбора плавких вставок предохранителей, в том числе:

– селективность между предохранителями ПКТ-10 и ПН2 при коротких замыканиях на шинах 0,4кВ;

– селективность при установке вместо предохранителей ПН2 автоматических выключателей, работающих без замедления.

8.4. Проверка селективности между предохранителями, установленными на сторонах 6-10 и 0,4кВ трансформатора (и на отходящих линиях 0,4кВ).

8.4.1. Селективность обеспечивается, если время плавления вставки предохранителя 10кВ ($t_{\text{пл}10}$) при всех реально возможных токах к.з. оказывается больше времени плавления предохранителя 0,4кВ ($t_{\text{пл}0,4}$).

$$\frac{t_{\text{пл}10}}{t_{\text{пл}0,4}} \geq K_{\text{зап}}$$

где:

$K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, учитывающий разбросы по времени плавления вставок предохранителей. Коэффициент запаса должен быть не менее 3.

8.4.2. Пример 9.

Проверить селективность вставок предохранителей, защищающих трансформатор 160кВа 10/0,4кВ.

Решение: 1. В соответствии с приложением 11 выбираем предохранители с номинальными токами плавких вставок

– ПКТ-10кВ $I_{sc} = 20 \text{ A}$

– ПН2 $I_{sc} = 250 \text{ A}$

2. Ток трехфазного к.з. на стороне 0,4кВ

$$I_K^{(3)} = \frac{U_L}{\sqrt{3}Z_T} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,045} = 5133 \text{ A}$$

3. Ток трехфазного к.з. на стороне 10кВ при коротком замыкании на стороне 0,4кВ

$$I_K^{(3)} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 0,045 \cdot 625} = 240 \text{ A}$$

4. Сравним время срабатывания вставок

$t_{п10} = 0,25 \text{ сек}$

$t_{п0,4} = 0,05 \text{ сек}$

$$\frac{t_{п10}}{t_{п0,4}} = \frac{0,25}{0,05} = 5 > 3$$

т.е. селективность обеспечивается.

8.4.3. Пример 10.

Проверить эффективность работы предохранителей 10кВ, установленных на трансформаторах 10/0,4кВ и защит выключателя питающей ВЛ.

Исходные данные:

– длины участков ВЛ, сечение проводов, мощности трансформаторов приведены на схеме ВЛ.

– сопротивления энергосистемы, приведенные к напряжению 10,5кВ:

$R_c = 0$ $X_c = 1,28 \text{ Ом}$ $Z_c = 1,28 \text{ Ом}$

– удельные сопротивления проводов ВЛ при среднем расчетном расстоянии между ними равным 1м:

а/ для АС-35 $R_0 = 0,773 \text{ Ом/км}$ $X_0 = 0,37 \text{ Ом/км}$

б/ для АС-50 $R_0=0,592\text{ Ом/км}$ $X_0=0,36\text{ Ом/км}$

– максимальный рабочий ток ВЛ

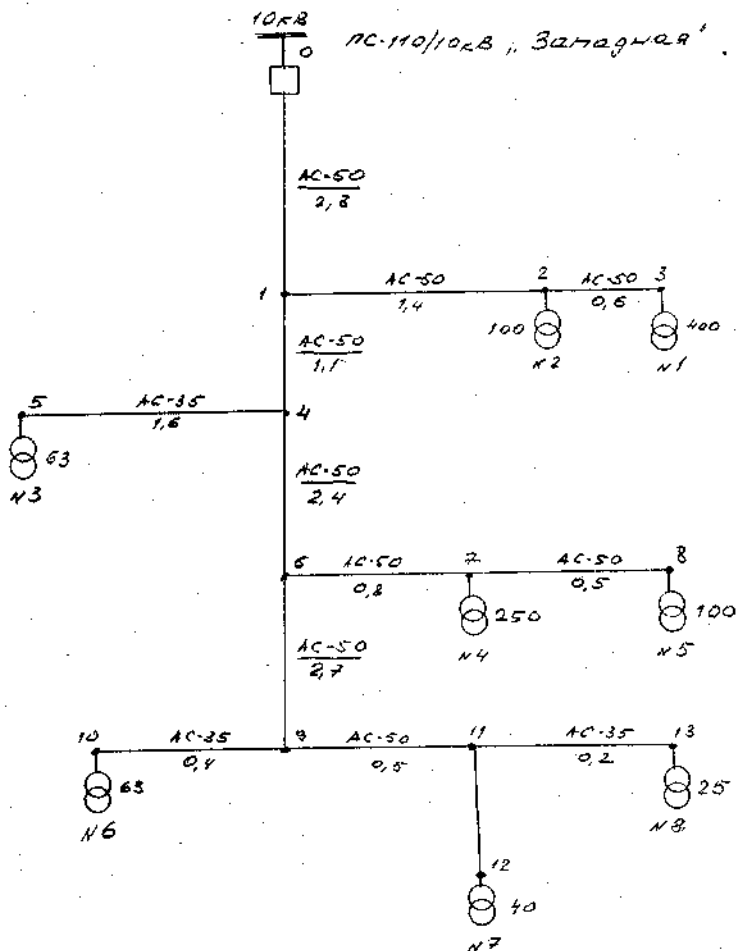
$I_{\text{раб. макс.}} = 45\text{ А}$ (мощные электродвигатели отсутствуют)

– уставки защит выключателя 10кВ

а/ Мт.з. $I_{\text{с.з.}} = 50\text{ А}$ $t_{\text{с.з.}} = 0,5\text{ сек}$

б/ ТО $I_{\text{с.з.}} = 360\text{ А}$ $t_{\text{с.з.}} = 0,0\text{ сек}$

– схема ВЛ 10кВ



Решение:

1. Определяем активные, индуктивные и полные сопротивления участков ВЛ 10кВ.

Участок	Длина, км	Сечение провода, мм ²	R Ом	X Ом	Z Ом
1	2	3	4	5	6
0-1	2,3	АС-50	1,36	0,828	1,59
1-2	1,4	АС-50	0,83	0,5	0,97
2-3	0,6	АС-50	0,355	0,216	0,42
3-4	1,1	АС-50	0,65	0,396	0,76
4-5	1,6	АС-35	1,24	0,592	1,37
5-6	2,4	АС-50	1,42	0,864	1,66
6-7	0,8	АС-50	0,47	0,286	0,55
7-8	0,5	АС-50	0,296	0,18	0,35
8-9	2,7	АС-50	1,6	0,972	1,87
9-10	0,4	АС-35	0,31	0,148	0,34
10-11	0,5	АС-50	0,296	0,18	0,35
11-12	0,3	АС-35	0,23	0,11	0,255
12-13	0,2	АС-35	0,155	0,074	0,17

2. Определяем активные, индуктивные и полные сопротивления трансформаторов 10/0,4кВ (сопротивления приведены к напряжению 10кВ)

Параметр	Мощность трансформатора, кВА						
	25	40	63	100	160	250	400
Активное сопротивление R _т , Ом	96,2	55	32,5	19,7	10,37	5,875	3,44
Индуктивное сопротивление X _т , Ом	152,25	98,125	63,75	29,375	26,06	17	10,7
Полное сопротивление Z _т , Ом	179,4	112,5	71,25	45	28,125	17,94	11,25
Номинальный ток плавкой вставки ПКТ-10	3	5	7,5	15	20	30	50

3. Расчет токов короткого замыкания выполняется по выражениям:
 а) при к.з. на шинах 0,4кВ трансформатора

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}(Z_c + Z_s + Z_T)}, \text{ А}$$

- б) при к.з. на выводах 10кВ трансформатора

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}(Z_c + Z_s)}, \text{ А}$$

в) $I_K^{(2)} = 0,867 I_K^{(3)}$

где:

$U_{\text{л}}$ – линейное напряжение 10,5кВ

Z_s – суммарное сопротивление участков ВЛ от шин 10кВ подстанции 110/10кВ до трансформатора подстанции 10/0,4кВ.

Трансформатор		Ток при к.з. на шинах 0,4кВ трансформатора, А		Ток при к.з. на шинах 10кВ трансформатора, А		Полное время срабатывания предохранителя при $I_K^{(2)}$, сек	
№	Мощность, кВА	$I_K^{(3)}$	$I_K^{(2)}$	$I_K^{(3)}$	$I_K^{(2)}$	На шинах 0,4кВ тр-ра	На выводах 10кВ тр-ра
1	400	391,4	339,3	1425,0	1235	5,1	0,6
2	100	124,3	107,75	1580,7	1370,5	4,4	0,21
3	63	79,6	69,0	1214,0	1052,5	1,8	0,18
4	250	255,3	221,3	1039,4	901,1	5,4	0,6
5	100	118,6	102,8	980,6	850,2	3,0	0,36
6	63	77,1	66,8	809,3	701,7	1,8	0,12
7	40	50,3	43,6	739,8	641,4	1,8	0,12
8	25	32,3	28,1	747,5	548,1	2,4	0,18

Полное время (t_n) срабатывания предохранителя:

$$t_n = t_{\text{пв}} + t_{\text{гд}}$$

где:

$t_{\text{пв}}$ – время плавления вставки;

$t_{\text{гд}}$ – время горения дуги.

4. Выводы:

Для данной ВЛ 10кВ целесообразно применить мачтовые подстанции 10/0,4кВ без установки предохранителей 10кВ, т.к. максимальная токовая защита выключателя обеспечивает даже отключение повреждений на шинах 0,4кВ подстанции (за исключением №7,8), а токовая отсечка защищает трансформатор не только от коротких замыканий на его выводах высокого напряжения, но частично от внутренних повреждений. Время действия защит меньше полного времени срабатывания предохранителей.

8.5. Достоинства и недостатки предохранителей.

К достоинствам предохранителей относится их простота и дешевизна. В то же время они имеют следующие существенные недостатки, ограничивающие область их применения:

- плавкие вставки стареют и течением времени, после чего возможны ложные сгорания вставок в пусковых режимах, то есть защита ненадежна;
- при однофазных к.з. плавкая вставка отключает только одну фазу, что приводит к опасному режиму работы двигателей на двух фазах. Это может вызвать остановку двигателя. Если он продолжает вращаться, то работает с повышенным в 1,5-2 раза током по сравнению с номинальным;
- плавкая вставка – однократного действия. После срабатывания предохранителя ее необходимо заменять;
- в условиях эксплуатации часто вместо калиброванных вставок применяют другие или проволоку, что нарушают защиту сети;
- плавкие вставки предохранителей не защищают двигатель от перегрузок, требуется защита с помощью тепловых реле, действующих на отключение магнитных пускателей;
- форма защитных характеристик вставок неудачна, особенно для защиты трансформаторов. Характеристика имеет большие разбросы, для предохранителей низкого напряжения разбросы даже не нормированы, для многих конструкций предохранителей нет официальных характеристик. Методы калибровки вставок несовершенны;
- во многих случаях невозможно обеспечить необходимые селективности и чувствительность.

9. Защита электрических сетей 0,4кВ автоматическими выключателями

9.1. Недостатки предохранителей обусловили широкое применение автоматических выключателей (автоматов) для защиты сетей 0,4кВ.

Автоматические выключатели предназначены для автоматического отключения электрических цепей при токах к.з. или ненормальных режимах (перегрузках, исчезновении или снижении напряжения), а также для нечастого включения или отключения токов нагрузки. Отключение выключателя при перегрузках и к.з. выполняется встроенным в выключатель автоматическим устройством, которое называется максимальным расцепителем тока, или сокращенно – расцепителем. Выключатели по заказу могут поставляться со следующими дополнительными устройствами:

- нулевым или минимальным расцепителем, отключающим выключатель при снижении напряжения соответственно до $(0,1-0,35) n$ и до $(0,35-0,7) n$ (напряжение срабатывания не регулируется);
- независимым расцепителем (электромагнитом отключения) для дистанционного отключения выключателя;
- электродвигательным или электромеханическим приводом для дистанционного управления выключателем;
- свободными вспомогательными контактами, а выключателями серии ВА – также сигнальными контактами автоматического отключения;
- выдвижным устройством со вставными контактами главных и вспомогательных цепей для выключателей выдвижного исполнения.

Различают нетокоограничивающие и токоограничивающие выключатели.

Нетокоограничивающие выключатели не ограничивают ток к.з. в цепи, и он достигает максимально ожидаемого значения.

Токоограничивающие выключатели ограничивают значение тока к.з. с помощью быстрого введения в цепь дополнительного сопротивления электрической дуги (в первый же полупериод, до того, как ток к.з. значительно возрастет) и последующего быстрого отключения к.з., при этом ток к.з. не достигает ожидаемого расчетного максимального значения. Токоограничение начинается с некоторого значения тока, определяемого характеристикой токоограничения.

Например, в токоограничивающих автоматических выключателях серий А 3700Б при больших ожидаемых токах к.з. контакты, имеющие специальную конструкцию, сразу же отбрасываются электродинамическими силами, вводя в цепь сопротивление дуги, и затем уже не соприкасаются, т.к. своевременно срабатывает электромагнитный расцепитель. При малых токах к.з. контакты не отбрасываются, а отключение производится также электромагнитным расцепителем.

Номинальным током и напряжением выключателя называют значение тока и напряжения, которые способны выдерживать главные токоведущие части выключателя в длительном режиме.

Номинальный ток расцепителя может отличаться от номинального тока выключателя, поскольку в выключатель могут быть встроены расцепители с меньшим номинальным током.

Предельной коммутационной способностью выключателя называют максимальное значение тока к.з., которое выключатель способен включить и отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии.

Одноразовой предельной коммутационной способностью называют наибольшее значение тока, которое выключатель может отключить один раз.

Собственное время отключения выключателя – время срабатывания расцепителей и механизма выключателя до начала расхождения силовых контактов (используется при выборе выключателей по предельной коммутационной способности).

Полное время отключения выключателя – время срабатывания расцепителей, механизма выключателя, расхождения силовых контактов и окончания гашения дуги в дугогасительных камерах (используется при проверке селективности защиты).

Автоматические выключатели могут иметь следующие защитные (время-токовые) характеристики:

- зависимую от тока характеристику времени срабатывания, такие выключатели имеют только тепловой расцепитель, применяются редко вследствие недостаточной предельной коммутационной способности и быстродействия;

- независимую от тока характеристику времени срабатывания; такие выключатели имеют только токовую отсечку, выполненную с помощью электромагнитного или полупроводникового расцепителя, действующего без выдержки или с выдержкой времени;

– ограниченно зависимую от тока двухступенчатую характеристику времени срабатывания; в зоне токов перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени, в зоне токов к.з. выключатель отключается токовой отсечкой, с независимой от тока заранее установленной выдержкой времени (для селективных выключателей) или без выдержки времени (для неселективных выключателей); выключатель имеет либо тепловой и электромагнитный (комбинированный) расцепитель, либо двухступенчатый электромагнитный (выключатель АВМ), либо полупроводниковый расцепитель;

– трехступенчатую защитную характеристику.

В зоне токов перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени, в зоне токов к.з. – с независимой, заранее установленной выдержкой времени (зона селективной отсечки), а при близких к.з. – без выдержки времени (зона мгновенного срабатывания); зона мгновенного срабатывания предназначена для уменьшения длительности воздействия токов при близких к.з. Такие выключатели имеют полупроводниковый расцепитель.

9.2. Выбор автоматических выключателей.

Номинальный ток теплового расцепителя определяется по формуле:

$$I_{TP} = 1,1(I_{л\text{ макс}} + kI_{п.д.}), \text{ А}$$

где:

$I_{л\text{ макс}}$ – максимальный ток нагрузки линии без учета номинального тока наиболее мощного двигателя, А

$I_{п.д.}$ – пусковой ток наиболее мощного электродвигателя, подключенного к данной линии, А;

k – коэффициент, равный 0,2 или 0,4 при суммарной двигательной нагрузке, равной соответствующей менее или более половины общей мощности линии.

Если пусковой ток $I_{п.д.}$ менее $0,1I_{л\text{ макс}}$, то второе слагаемое можно не учитывать.

В качестве номинального тока теплового расцепителя принимается ближайшее большее значение из данных, приведенных в приложениях.

Коэффициент чувствительности защиты, выполненной с помощью тепловых расцепителей, определяется по формуле:

$$k_q = \frac{I_{кз\text{ мин}}}{I_{TP}} \geq 3$$

где:

$I_{кз мин}$ – минимальное значение двухфазного к.з. (при наличии специальных защит в нулевом проводе) или однофазного (при отсутствии специальных защит в нулевом проводе) на нулевой провод при к.з. в конце защищаемой линии, А.

$I_{тр} I_{кз мин}$ – номинальный ток теплового расцепителя.

Значение коэффициента чувствительности для тепловых расцепителей автоматов должно быть не менее 3 (ПУЭ п. 1.7.79).

Если данное условие не выполняется, то на линии необходима установка секционирующего автомата.

Автоматические выключатели наряду с тепловыми расцепителями имеют и электромагнитные расцепители (токовые отсечки). Эффективность токовой отсечки можно оценить, определив ее коэффициент чувствительности

$$k_{ч отс} = \frac{I_{кз}}{I_{эп}} \geq 1,2$$

где $I_{эп}$ – ток уставки электромагнитного расцепителя.

При защите линий автоматами серий АП-50Б и А 3716Ф токи уставки электромагнитных расцепителей следует проверять по формуле:

$$I_{эп} \geq k_H (I_{л макс} + k I_{п.д.})$$

где: $I_{п.д.}$ – максимальный пусковой ток запускаемых двигателей;

$k_H = 1,2$ – коэффициент надежности.

Для выключателей других типов, имеющих большую кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя по отношению к номинальному току, проверка по последней формуле не требуется.

9.3. Пример 11. Ток однофазного к.з. в конце линии 0,4кВ равен 100А. Выбрать автоматические выключатели для защиты этой линии.

Решение:

а) выключатель имеет расцепитель с зависимой характеристикой, без отсечки (мгновенного расцепителя).

По ПУЭ (п. 1.7.79) ток срабатывания такого автомата должен быть в 3 раза меньше тока однофазного к.з.

$$I_{ср} \geq \frac{I_{к}^{(1)}}{3} = \frac{100}{3} = 33,3 \text{ А}$$

Выключатели с зависимой характеристикой расцепителя выпускаются типов АЗ100, АП50, АЕ20, ВА51, АЗ710. Можно применить выключатели:

АЗ716Ф (In.расц.=32А); АЕ-2046 (In.расц.=31,5А), ВА 51 (In.расц.=31,5А),

АП 50 (In.расц.=25А), которые удовлетворяют требованиям чувствительности, если длительный ток нагрузки меньше тока срабатывания их расцепителей.

б) Выключатель имеет мгновенный электромагнитный расцепитель.

По ПУЭ (п. 1.7.79) ток срабатывания мгновенного расцепителя (отсечки) должен быть:

$$I_{с.отс} \leq \frac{I_K^{(1)}}{1,1 \cdot 1,3}$$

где:

1,1 – коэффициент чувствительности;

1,3 – коэффициент, учитывающий разброс по току срабатывания.

Минимальный ток срабатывания мгновенного электромагнитного расцепителя у выключателя типа АЗ110 составляет 150А, АЗ716Ф – 630А.

Проверяем автоматы типов ВА 51, АП 50Б:

– ток срабатывания расцепителя ВА 51 должен быть:

$$I_{с.отс} \leq \frac{I_K^{(1)}}{1,1 \cdot 3,0}$$

где:

3,0 – кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя по отношению к In.расц.

$$I_{с.отс} \leq 33,3\text{А}$$

Этому условию удовлетворяет выключатель типа ВА 51 с In.расц.=31,5А.

Для автомата АП 50Б ток срабатывания расцепителя должен быть

$$I_{с.отс} \leq \frac{I_K^{(1)}}{1,1 \cdot 4,0}$$

Где:

4,0 – кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя (с учетом разброса) по отношению In.расц.

$$I_{с.отс} \leq 22,7\text{А}$$

Принимаем выключатель АП 50 с I_n расц. = 16А

Дальнейший выбор выключателей должен проводиться по другим условиям: по величине длительного тока нагрузки, числу полюсов, температуры окружающей среды в месте ее установки.

9.4. Пример 12. Выбрать аппарат для защиты ВЛ 0,4кВ протяженностью 1,25км, сечение проводов 4Ах50, максимальный рабочий ток 27А. На подстанции 10/0,4кВ установлен трансформатор 100кВА.

$$R_{ол} = 0,576 \text{ Ом/км}$$

$$X_{ол} = 0,35 \text{ Ом/км}$$

$$R_T = 0,0315 \text{ Ом}$$

$$X_T = 0,0647 \text{ Ом}$$

$$Z_{оп} = 1,73 \text{ Ом/км}$$

Решение:

1. Ток однофазного к.з. в конце линии

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_n} = \frac{231}{0,26 + 2,17} = 95 \text{ А}$$

2. Ток двухфазного к.з. в конце линии

$$I_K^{(2)} = \frac{0,867 \cdot U_\phi}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_T + R_n)^2 + (X_T + X_n)^2}} =$$
$$= \frac{0,867 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,0315 + 0,72)^2 + (0,0647 + 0,4375)^2}} = 253,2 \text{ А}$$

3. Выбираем автоматический выключатель серии АЕ 20 (номинальный ток выключателя 63А, номинальный ток теплового расцепителя 31,5А, ток срабатывания электромагнитного расцепителя 378А).

4. Проверяем чувствительность выбранного выключателя

$$k_q^{(1)} = \frac{95}{31,5} = 3,01 > 3$$

$$k_q^{(2)} = \frac{253,2}{378 \cdot 1,1 \cdot 1,3} = 0,47 < 1,2$$

т.е. электромагнитный расцепитель неэффективен при междуфазных к.з. в конце линии.

Согласно ПУЭ (п.1.7.79), выбранный выключатель можно применять для защиты данной линии, т.к. он обеспечивает чувствительность при однофазных к.з. в конце линии.

Время срабатывания выключателя (согласно защитной характеристике) составит:

- при токе, равном 95А – $t_{ср} = 150 \text{ сек.}$
- при токе, равном 253,2А – $t_{ср} = 30 \text{ сек.}$

5. При установке для защиты линии предохранителей типа ПН2-60 с номинальным током плавкой вставки 32А время срабатывания их составит:

- При $I = 95 \text{ А}$ – $t = 12 \text{ сек.}$
- При $I = 253,2 \text{ А}$ – $t = 0,04 \text{ сек.}$

Таким образом, для защиты данной линии целесообразно установить предохранители ПН2.

10. Защита трансформаторов 6-10/0,4кВ на стороне 0,4кВ автоматическими выключателями

10.1. Как коммутационный аппарат, предназначенный для отключения токов короткого замыкания, автоматический выключатель выбирается по максимальному значению тока к.з. в месте его установки, т.е. при металлическом трехфазном к.з. В связи с малой вероятностью металлических к.з. при выборе выключателей линий в ряде случаев учитывается меньшее значение тока к.з. через переходное сопротивление (до 0,015 Ом). Но для вводных и секционных автоматических выключателей трансформаторных подстанций такое допущение не принимается, и их коммутационная способность, электродинамическая и термическая стойкость должны соответствовать максимальному току к.з. Как защитный аппарат автоматический выключатель не должен срабатывать при номинальных токах и допускаемых перегрузках, должен селективно и с достаточной чувствительностью отключать все виды к.з., причем с минимальным временем. При недопустимых перегрузках защищаемого элемента автомат должен отключиться раньше, чем произойдет повреждение защищаемого элемента.

На стандартных подстанциях 6-10/0,4кВ, где автоматические выключатели используются как коммутационные и защитные аппараты, применяются следующие типы автоматов: А 3100, А 3700 с комбинированными расцепителями, селективные АВС, АВМ, "Электрон", ВА.

10.2. Номинальный ток автоматического выключателя выбирается по номинальному току защищаемого трансформатора с учетом его допустимой длительной перегрузки при отключении одного из двух трансформаторов и включении секционного выключателя.

Номинальные токи теплового расцепителя (защита от перегрузки) имеют значения, примерно равные номинальному току автомата.

Кратность тока срабатывания независимого расцепителя (электромагнитного), осуществляющего защиту трансформатора от тока к.з., выбирается из условий несрабатывания автомата при токах самозапуска нагрузки, не меньших, чем 7-10 от номинального тока теплового расцепителя.

Электромагнитный или ему подобный полупроводниковый независимый расцепитель должен надежно, с достаточной чувствительностью реагировать на все виды к.з. на шинах 0,4кВ, а также обеспечивать резервирование автоматических выключателей, установленных на отходящих линиях.

10.3. Коэффициент чувствительности (кратность тока к.з. должен быть равным:

$k_{\eta} \geq 1,5$ – при междуфазных к.з. в основной зоне;

$k_{\eta} \geq 1,3$ – при однофазных к.з. в основной зоне;

$k_{\eta} \geq 1,2$ – при всех видах к.з. в зоне резервирования.

При наличии в автомате дополнительно к электромагнитному расцепителю встроенной защиты от трехфазной перегрузки (тепловой расцепитель) ее необходимая чувствительность к однофазным к.з. должна быть не менее 3. Но при такой чувствительности время отработки защиты от перегрузки составляет несколько секунд и даже десятков секунд, что может привести к опасным последствиям. Именно поэтому защита от перегрузки не может считаться эффективной защитой от коротких замыканий.

10.4. Электромагнитный расцепитель (отсечка) в автоматических выключателях серий АВМ, "Электрон", ВА и им подобных воздействует на встроенный элемент выдержки времени. Селективность действия автоматических выключателей при больших значениях токов к.з. достигается выбором разных выдержек времени (уставок), отсечек

последовательно включенных автоматов. Однако при максимальном значении тока металлического трехфазного к.з. на шинах 0,4кВ трансформаторов 400кВА и более могут неселективно сработать предохранители ПКТ-10. Но учитывая это, металлические трехфазные к.з. в электроустановках 0,4кВ происходят крайне редко, так как даже при оставленных ошибочно коротких замыканиях между фазами электродинамические силы, пропорциональные квадрату значения тока к.з., раздвигают, разрывают коротки, и короткое замыкание переходит в дуговое, при котором значение тока к.з. ограничится сопротивлением электрической дуги (при расчетах принимается равным 0,015 Ом), что приводит к уменьшению тока к.з. и увеличению времени срабатывания ПКТ-10 и обеспечению селективности.

11. Токовая защита от однофазных коротких замыканий на землю

При замыкании одного из фазных проводов линии на нулевой провод, корпус или на землю, ток протекает в цепи образованными этими элементами. Поэтому защита от однофазных коротких замыканий на нулевой провод может быть выполнена с контролем тока нулевой последовательности как в фазных проводах (ЗТИ-0,4), так и в нулевом проводе (выключатели АП-50, токовые реле РЭ-571Т). Защита ЗТИ-0,4, кроме того, реагирует на короткое замыкание фазного провода на землю.

Комплексные трансформаторные подстанции 10/0,4кВ Минского электротехнического завода оснащены токовыми защитами от однофазных коротких замыканий, выполненными с использованием токовых реле РТ-271Т, включенных в нулевые провода отходящих линий. Контакты токового реле действуют на замыкание цепи независимого расцепителя автоматического выключателя линии на отключение без выдержки времени. Ток срабатывания реле РЭ-271Т выбирается по условию отстройки от тока рабочего ($I_{н.б.}$) в нулевом проводе с коэффициентом запаса (k_z), равным 1,4. При осветительной или другой нагрузке, обусловленной однофазными токоприемниками, величина рабочего небаланса может достигать $0,5I_{л\text{ макс.}}$.

Тогда ток срабатывания реле РЭ-571Т определяется выражением

$$I_{РЭ} = k_z 0,5I_{л\text{ макс.}} = 0,7I_{л\text{ макс.}}$$

и принимается ближайшее значение номинального тока реле, при этом необходимо учитывать возможность регулировки тока срабатывания РЭ-571Т.

Коэффициенты срабатывания тепловой защиты от однофазных коротких замыканий определяются:

$$k_q = \frac{I_{\text{КМНН}}^{(1)} - I_{\text{Н.Б.МАКС}}}{I_{\text{Р.Э.Н}}} \geq 3,$$

где $I_{\text{Р.Э.Н}}$ – ближайшее значение номинального тока реле РЭ-571Т;

– минимальный ток однофазного короткого замыкания на нулевой провод в конце линии;

$I_{\text{Н.Б.МАКС}}$ – максимальный ток небаланса (несимметрии).

Величина k_q должна быть не менее 1,5 при повреждении в самой удельной точке линии.

В выключателях серии АП-50-2МЭТО предусмотрен максимальный расцепитель для включения в нулевой провод с током срабатывания равным $1,4I_{\text{Н.Р.}}$.

Таким образом

$$I_y \geq 0,7I_{\text{Н.Б.МАКС}}$$

Коэффициент чувствительности такой защиты определяется

$$k_q = \frac{I_{\text{КМНН}}^{(1)} - I_{\text{Н.Б.МАКС}}}{I_y} \geq 3,$$

где I_y – ток установки нулевого расцепителя.

Для оценочных расчетов в обоих случаях можно пользоваться выражением

$$k_q \geq \frac{I_{\text{КМНН}}^{(1)}}{1,6I_y}$$

При однофазных коротких замыканиях токовые защиты от однофазных к.з. являются основными, так как имеют большую чувствительность по сравнению с защитами, выполненными на тепловых и электромагнитных расцепителях в фазных проводах линии.

Реле тока РЭ- 571Т рассчитаны на работу в повторно-кратковременном режиме и не допускают длительного протекания по ним тока, превышающего номинальные значения: 0,6; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 320; 400; 630А.

Реле могут быть настроены на ток срабатывания в пределах 70-200% номинального тока реле.

Коэффициент возврата реле 0,65.

Собственное время размыкания контактов реле при краткости тока по отношению к току установки не менее 1,5 должно быть не более 0,05 сек.

12. Измерение тока короткого замыкания цепи "фаза-нуль"

Для измерения величины тока короткого замыкания цепи "фаза-нуль" в сетях переменного тока 0,4кВ с глухозаземленной нейтралью используется прибор Щ 41160.

Диапазон измерений тока однофазного к.з. от 10 до 1000А.

Измерение тока короткого замыкания выполняется персоналом, хорошо знающим данную сеть, с соблюдением мер техники безопасности при производстве работ в действующих электроустановках.

Конструкция измерителя обеспечивает безопасность работающего персонала. Все элементы электрической схемы измерителя заключены в кожух, предотвращающий возможность прикосновения к частям, находящимся под напряжением. При работе с измерителем его корпус должен быть заземлен.

Электрическая схема измерителя имеет защитное устройство, отключающее измеритель в случае неисправности заземляющих или зануляющих проводников.

Порядок работы:

- подключить к измерителю соединительные провода согласно нанесенной на их измерителе маркировке. В случае, когда порядок тока короткого замыкания цепи «фаза-нуль» неизвестен, измерения необходимо начинать с ограничивающим резистором т.е. соединительный провод «ФАЗА» подключить к зажиму «ФАЗА R орган»;

- подключить соединительные провода к объекту измерения, соблюдая маркировку. Перед началом измерений еще раз необходимо проверить надежность и правильность подключения соединительных проводов к измерителю и объекту;

- нажать кнопку ПТН (Питание). При загорании индикации должны высвечиваться нули — это свидетельствует о том, что прибор исправен и готов к работе;

– нажать кнопку ИЗМ (Измерение). На время измерения индикация гаснет, а затем высвечивается результат измерения. На время измерения в течение 5 сек. возможно подсвечивание индикаторов, которое отражается на результате измерения.

Если результат измерения тока короткого замыкания с ограничивающим резистором превышает 535А, то ориентировочно значение тока к.з. определяется по формуле:

$$I_{кз} = \frac{220}{\frac{220}{I_{ИЗМ}} - 0,3} \text{ А,}$$

где $I_{ИЗМ}$ – показание прибора.

Запрещается производить измерение без ограничивающего резистора, когда результат измерения с ограничивающим резистором превышает 535А.

Если результат измерения тока короткого замыкания с ограничивающим резистором не превышает 535А, то измерение необходимо повторить без ограничивающего резистора, отключив соединительный провод ФАЗА от зажима ФАЗА R огран. и подключив его к зажиму ФАЗА.

Если при измерении тока короткого замыкания происходит отключение сети (срабатывает защита) и не удастся зафиксировать результат измерения, то измерение необходимо повторять в следующей последовательности:

- соблюдая полярность, установить в отсек питания 6 элементов 316 типа “Уран”;
- включить сеть (автомат защиты);
- включить кнопку ПТН (Питание);
- включить кнопку ПМТ (Память), переведя измеритель в режим запоминания результата измерения;
- произвести измерение, нажав кнопку ИЗМ (Измерение);
- повторно включить сеть (автомат защиты), если произошло отключение измерителя от сети;
- кнопку ПТН (Питание) отжать и через 10-15 сек. нажать. На отсчетном устройстве должен высвечиваться результат предыдущего измерения;
- после окончания измерения, для предотвращения разряда батарей, кнопку ПМТ (Память) отжать.

13. Краткое техническое описание автоматических выключателей, применяемых для защиты присоединений 0,4кВ в ТП, КТП, МТП

13.1. Выключатели серии АЗ100.

13.1.1. Сокращенное условное обозначение АЗ1ХХ.

Расшифровка в порядке написания:

А – автоматический выключатель;

31 – номер разработки

ХХ – модификация и величина выключателя:

10 – первая, 20 – вторая, 30 – третья

40 – четвертая; 60 – однополюсный.

Продольный разрез выключателя АЕ 3120 приведен на рис. 2.

- 1 – основание;
- 2 – крышка;
- 3 – подвижные контакты;
- 4 – неподвижные контакты;
- 5 – медные шины;
- 6 – медные основы;
- 7 – контактодержатели;
- 8 – гибкие соединения;
- 9 – расцепитель максимального тока;
- 10 – изолированная траверса;
- 11 – дугогасительные камеры;
- 12, 13 – проводники;
- 14 – биметаллическая пластинка;
- 15 – рейка;
- 16 – сердечник;
- 17 – якорь;
- 18 – возвратная пружина;
- 19 – собачка;
- 20, 22, 23 – рычаги;
- 21 – рукоятка механизма управления;
- 24 – пружина

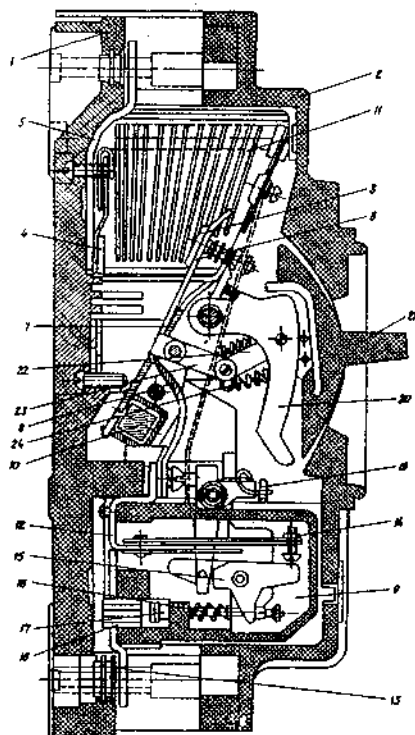


Рис. 2

13.1.2. выключатель состоит из следующих основных узлов:

- пластикового кожуха;
- коммутирующего устройства;
- дугогасительных камер;
- расцепителей максимального тока;
- механизма управления;
- выводов для присоединения проводов;
- дистанционного расцепителя и блок-контактов (выключатели серии А 3120, А 3130, А 3140).

Пластмассовый кожух состоит из основания 1, на котором смонтированы все части выключателя, и крышки 2, привинченной к основанию.

Основание и крышка имеют продольные перегородки между полюсами для предотвращения переброса дуги между ними.

Коммутирующее устройство состоит из подвижных 3 и неподвижных 4 контактов.

Выключатели серии А 3100 (за исключением выключателей серии А 3140) имеют одну пару контактов на полюс.

Выключатель серии А 3140 имеет три пары контактов на полюс: две пары основных и одну пару дугогасительных.

Неподвижные контакты укреплены на медных шинах 5, которые используются в качестве выводов для подсоединения проводов.

Подвижные контакты укреплены на медных основах 6, которые крепятся на контактодержателях 7 и связаны гибкими соединениями 8 с токоведущими частями расцепителя максимального тока 9, имеющего на другом конце вывод для подсоединения проводов.

Контактодержатели 7 всех полюсов соединены между собой изолированной траверсой 10, связанной с механизмом управления. Для обеспечения устойчивой работы контакты выключателя выполнены из металлокерамики. Они имеют высокую износостойчивость при включении и отключении допустимых токов и практически не требуют ухода.

В выключателях серии А 3160, А 3120 и А 3130 подвижные и неподвижные контакты соприкасаются по плоскости, а в выключателях А 3110 и А 3140 – по линии с зазором в верхней части.

Дугогасительные камеры 11 расположены над контактами каждого полюса. В дугогасительной камере происходит дробление дуги стальными пластинками и ее гашение. Для возможности ремонта камеры выполнены съемными.

Расцепители максимального тока расположены в нижней части выключателя и являются одновременно продолжением токоведущей части полюсов выключателя.

Расцепители максимального тока выключателей серии А 3120, А 3130 и А 3140 – съемные и расположены в отдельном корпусе, а выключателей А 3160 и А 3110 – несъемные и крепятся непосредственно в основании кожуха выключателя.

При к.з. электромагнитный элемент, а при перегрузке тепловой элемент срабатывают, в результате чего поворачивается (общая для всех полюсов выключателя) рейка 15, которая освобождает собачку 19, что приводит к срабатыванию механизма свободного расцепления и отключению выключателя.

В однополюсном выключателе А 3161 механизм свободного расцепления непосредственно связан с биметаллической пластинкой.

13.1.3. Выключатели могут иметь следующие расцепители:

- тепловой (защита от перегрузки);
- электромагнитный (отсечка);
- комбинированный, состоящий из теплового и электромагнитного элементов;
- для дистанционного управления.

13.1.4. Тепловой расцепитель состоит из проводников и биметаллической пластины, по которым проходит нагревающий их ток (у выключателей А 3140 тепловой элемент состоит из биметаллической пластинки и нагревательного элемента, который нагревается от проходящего по нему тока и передает тепло биметаллической пластинке). В обоих случаях биметаллические пластинки, нагреваясь, изгибаются и поворачивают отключающую рейку, что приводит к срабатыванию выключателя с выдержкой времени, обратно зависимой от тока. Защитные характеристики срабатывания выключателей приведены в приложениях 22-26.

На срабатывание тепловых расцепителей большое влияние оказывает температура соединительных проводов и окружающего воздуха, а также количество полюсов выключателя, по которым протекает ток.

13.1.5. Электромагнитный расцепитель состоит из сердечника, якоря и возвратной пружины.

При протекании тока к.з. якорь мгновенно притягивается к сердечнику и ударяет по кулачку отключающей рейки, что приводит к отключению всех полюсов выключателя без выдержки времени.

13.1.6. Расцепители выполняются с нерегулируемыми уставками срабатывания.

13.1.7. Электромагнитный расцепитель предназначен для отключения выключателя без выдержки времени при протекании через выключатель тока к.з., имеющего значение выше значения уставки электромагнитного элемента, указанного в табличке выключателя.

13.1.8. Тепловой расцепитель срабатывает с обратной зависимостью от тока выдержкой времени под действием тепловых элементов, предназначен для отключения выключателя при токах перегрузки и токах к.з.

Тепловые расцепители и тепловые элементы комбинированных расцепителей при температуре окружающего воздуха $+25^{\circ}\text{C}$ не срабатывает при кратности тока $1,1$ номинального тока расцепителя ($I_{n.p.}$) и гарантировано срабатывает за время не более 1 часа при кратности $1,45$ номинального тока расцепителя (для выключателя А 3160 кратность $1,35$).

На щитке выключателя указывается номинальная уставка тока срабатывания ($I_{уст.т.}$) тепловых элементов расцепителя, равная $1,25I_{n.p.}$

Время срабатывания выключателя при нагрузке тепловых расцепителей (при температуре окружающей среды $+25^{\circ}\text{C}$) лежит в пределах заштрихованной части характеристик, приведенных в приложениях.

При повышении температуры окружающего воздуха на каждые 10°C ток срабатывания уменьшается на $6-8\%$; при понижении на каждые 10°C ток срабатывания увеличивается на $5-7\%$.

13.1.9. Комбинированный расцепитель имеет тепловой и электромагнитные элементы, предназначенные для отключения выключателя с обратной зависимостью характеристик от тока с выдержкой времени при перегрузках и без выдержки при токах к.з.

13.1.10. Механизм управления обеспечивает моментное замыкание и размыкание контактов. Включение и неавтоматическое отключение производится вручную путем поворота рукоятки 21 механизма управления вверх и вниз.

Промежуточное положение рукоятки свидетельствует об автоматическом или дистанционном отключении выключателя.

Для включения автоматически отключенного выключателя необходимо взвести механизм управления, для этого поворачивают рукоятку в крайнее нижнее (отключенное) положение, при этом рычаг 20 зацепляется собачкой 19 расцепителя.

После этого рукоятку необходимо повернуть в верхнее (включенное) положение, пружины 24 при этом растягиваются, а рычаги 22 и 23 с большой скоростью выпрямляются, в результате чего происходит моментное включение контактов.

При срабатывании расцепителей выключателя рейка 15 поворачивается до расцепления рычага 20 собачкой 19, в результате чего рычаг освобождается, вызывает излом рычагов и происходит автоматическое отключение.

При ручном отключении (повороте рукоятки вниз) происходит излом рычагов 22 и 23 и моментное отключение.

Блок-контакты предназначены для коммутирования цепей сигнализации и управления.

Блок-контакты и дистанционный расцепитель установлены внутри выключателя.

13.1.11. Дистанционный расцепитель состоит из катушки соленоидного типа и штока. При подаче напряжения на катушку шток ударяет по кулачку отключающей рейки, поворачивает ее и отключает выключатель.

13.1.12. Мощность, потребляемая катушкой дистанционного расцепителя, не более 400 ВА. Время нахождения катушки под напряжением не должно превышать 0,04 сек. Для обеспечения этого времени катушка должна включаться через блок-контактный выключатель.

13.2. Автоматические выключатели серии АЕ 20.

Сокращенное условное обозначение АЕ 20 XX XX.

Расшифровка в порядке написания:

АЕ – выключатель автоматический;

20 – номер разработки;

Х – условное обозначение номинального тока:

2 – 16А; 4 – 63А; 5 – 100А; 6 – 160А.

Х – число полюсов в комбинации с максимальными расцепителями тока:

3 – трехполюсные с электромагнитными расцепителями;

4 или 6 – соответственно одно- или трехполюсные с электромагнитными и тепловыми расцепителями.

Продольный разрез выключателя АЕ 2060 без температурной компенсации приведен на рис.3.

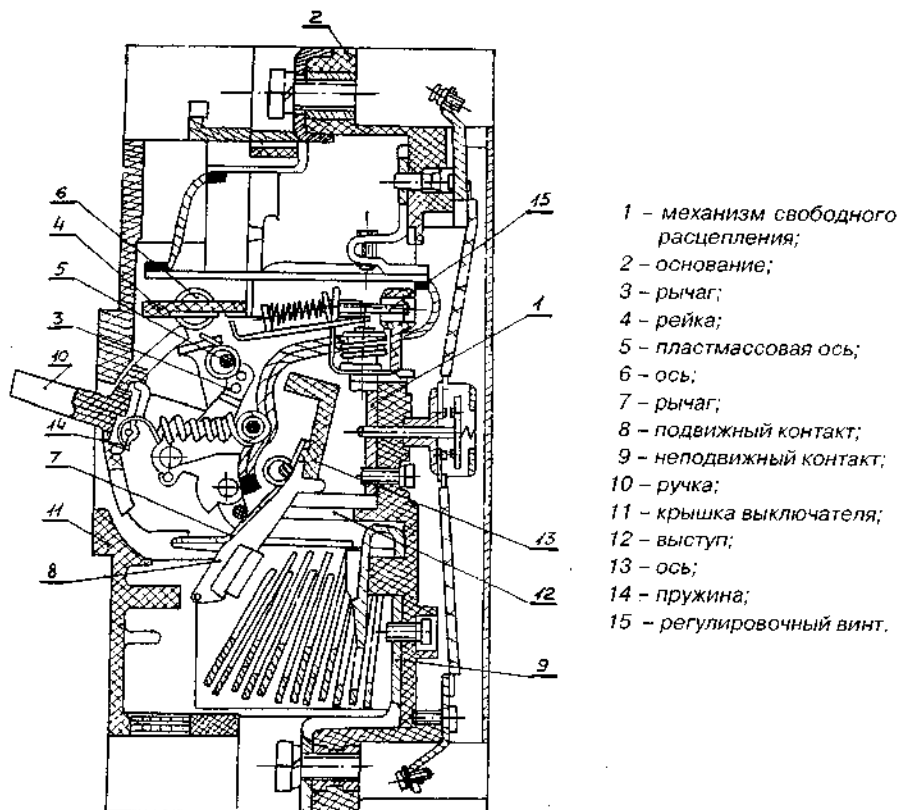


Рис. 3. Продольный разрез выключателя AE2060 без температурной компенсации

13.2.1. Выключатели могут иметь следующие расцепители:

- электромагнитный;
- комбинированный;
- минимального напряжения;
- независимый расцепитель.

13.2.2. Защитная характеристика комбинированного расцепителя – ограниченно зависимая (приложение 27).

13.2.3. Тепловые элементы комбинированного расцепителя могут иметь температурную компенсацию, т.е. в зависимости от температуры окружающего воздуха, автоматически изменяется защитная характе-

ристика выключателя и регулирование номинального тока теплового расцепителя, в условном обозначении их наличие обозначается буквами:

P – регулирование номинального тока теплового расцепителя и наличие температурной компенсации;

H – регулирование номинального тока теплового расцепителя без температурной компенсации;

B – без регулирования номинального тока теплового расцепителя и температурной компенсации для распределительных пунктов (с уменьшенными габаритными размерами);

Q – без регулирования номинального тока теплового расцепителя и температурной компенсации.

Тепловые расцепители без температурной компенсации калибруются при температуре $+40^{\circ}\text{C}$, с температурной компенсацией – при $+20^{\circ}\text{C}$.

Тепловые расцепители при нагрузке всех полюсов срабатывают при токе:

– $1,05 I_{\text{н.расц.}}$ в течение 2 часов;

– $1,25 I_{\text{н.расц.}}$ в течение не более 20 мин. при наличии температурной компенсации и не более 30 мин. при отсутствии температурной компенсации;

– $7 I_{\text{н.расц.}}$ в течение 3-15 сек. при наличии температурной компенсации и 1-15 сек. при ее отсутствии.

Однополюсные выключатели на номинальный ток 63А срабатывают при токе $1,35 I_{\text{н.расц.}}$ в течение менее 1 часа.

Регулировка тока срабатывания тепловых расцепителей – $(0,9-1,15) I_{\text{н.расц.}}$, а для тепловых расцепителей, номинальный ток которых равен номинальному току выключателя – $(0,9-10) I_{\text{н.расц.}}$. Собственное время отключения выключателя составляет 0,01-0,04 сек.

13.3. Автоматические выключатели серии А 3700.

Сокращенное условное обозначение А 37 XXX.

Расшифровка в порядке написания:

A – автоматический выключатель;

37 – номер разработки;

X – модификация и величина выключателя:

1 – первая, 2 – вторая, 3 – третья, 4 – четвертая, 9 – модифицированные 3 и 4 величины;

X – исполнение по виду защиты и числу полюсов.

1 или 2 – с электромагнитными расцепителями;
 3 или 4 – с электромагнитными и полупроводниковыми расцепителями (для селективных выключателей – только с полупроводниковыми);
 5 или 6 – с электромагнитными и тепловыми расцепителями;
 7 или 8 – без максимальных расцепителей;
 (нечетные цифры – двухполюсные, четные – трехполюсные).
 X – дополнительная характеристика типоисполнения;
 Б – токоограничивающие или выполненные на их базе;
 С – селективные или выполненные на их базе;
 Ф – нетокорегулирующие неселективные в фенопластовом корпусе;
 Н – неселективные нетокоограничивающие модернизированные.
 Двухполюсные выключатели переменного тока имеют такие же характеристики, как трехполюсные.

13.3.1. Выключатели с полупроводниковым расцепителем (защитные характеристики приведены на рис. 4).

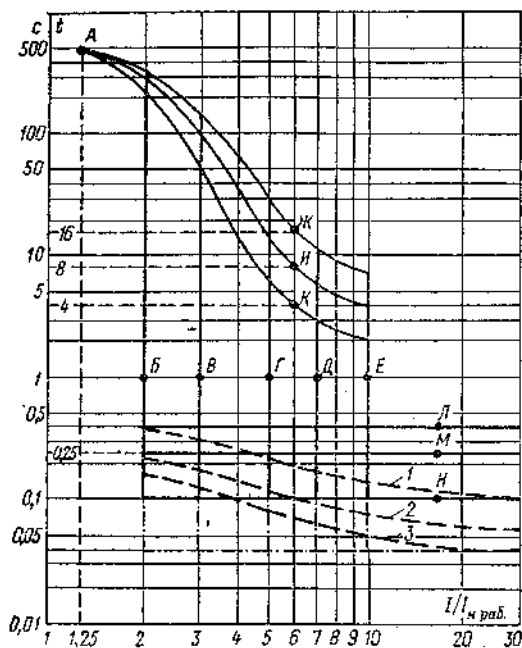


Рис. 4. Защитные характеристики автоматических выключателей А3700 переменного тока с полупроводниковым расцепителем

Селективные выключатели А3794С при токе более 20кА (действующее значение) отключаются без выдержки времени.

Номинальный ток этих расцепителей соответствует наибольшему, откалиброванному по шкале значению, значению номинального рабочего тока ($I_{н.раб.}$). Характеристика защиты ограниченно зависимая, а для выключателей А 3790С – трехступенчатая. Полупроводниковое реле (расцепитель серии РП) допускает плавную регулировку номинального рабочего тока расцепителя (точка А на защитной характеристике соответствует току срабатывания перегрузки при принятом значении $I_{н.раб.}$); тока срабатывания отсечки с.о. (точки Б, В, Г, Д, Е); времени срабатывания защиты от перегрузки с.п. при токе $6I_{н.раб.}$ (точки Ж, И, К) - времени срабатывания отсечки тс.о. (точки Л, М, Н) для селективных выключателей. Пунктирными линиями обозначена характеристика неселективных выключателей в зоне токов к.з.. Выключатели могут поставляться без защиты в зоне перегрузки.

Источником оперативного тока полупроводникового расцепителя, обеспечивающим отключение выключателя при к.з. являются встроенные трансформаторы тока. Нельзя эксплуатировать или наладивать выключатель с полупроводниковым расцепителем при параллельном соединении полюсов, при последовательном соединении двух или трех полюсов трехполюсного выключателя, а также со снятым блоком управления расцепителя и незакороченной вилкой соединителя выводов измерительных элементов.

13.3.2. Выключатели с электромагнитными и тепловыми расцепителями. Характеристика защиты – ограниченно зависимая. Эти расцепители имеют нерегулируемые уставки срабатывания. Тепловые расцепители откалиброваны при температуре окружающего воздуха $+40^{\circ}\text{C}$ и одновременном протекании тока по всем трем полюсам. Они не вызывают срабатывания при номинальном токе расцепителя; могут вызвать срабатывание при токе $1,05 I_{н.расц.}$ не менее чем за 2 часа при начале отсчета от холодного состояния выключателя; вызывают срабатывание при токе $1,25 I_{н.расц.}$ менее чем за 2 часа при отсчете от нагретого состояния. Разброс по току срабатывания электромагнитных расцепителей составляет для новых выключателей $+15\%$ для бывших в эксплуатации – $+30\%$.

Собственное время отключения выключателя электромагнитным расцепителем зависит от значения тока к.з. и величины выключателя, при токах, близких к предельным, оно менее 10 м/сек. Полное время отключения токоограничивающих выключателя при отключении предельных токов составляет около 10 м/сек. Для нетокоограничивающих выключателей при значении тока, близком к току срабатывания

отсечки, полное время отключения не превышает 40 м/сек, при увеличении тока оно уменьшается.

13.4. Автоматические выключатели серии ВА.

Сокращенное обозначение ВА XX-XX. Расшифровка в порядке написания:

ВА – выключатель автоматический;

XX – номер унифицированной серии;

51 – нетокоограничивающие с электромагнитными и тепловыми расцепителями или только с электромагнитными расцепителями;

52– токоограничивающие с электромагнитными и тепловыми расцепителями или только с электромагнитными расцепителями;

53– токоограничивающие неселективные с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями;

54– токоограничивающие высокой коммутационной способности с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями;

55 и 75 – селективные с полупроводниковыми расцепителями;

56 – без максимальных расцепителей.

XX – условное обозначение номинального тока:

25-50А; 29-63А; 30-80А; 31-100А; 32-125А; 330-160А; 35-250А; 37-400А; 39-630А; 41-1000А; 43-1600А; 45-250А; 47-4000А.

Защитные характеристики выключателей переменного тока серий ВА53, ВА54; ВА55; ВА75 с полупроводниковым расцепителем приведены на рис. 5.

В обозначении выключателей с номинальным током до 160А вместо разделительного знака "-" может указываться буква "Г", что означает, что выключатель предназначен специально для защиты электродвигателей.

13.4.1. Выключатели с полупроводниковым расцепителем серии БПР.

Характеристика защиты – ограниченно зависимая, а для селективных выключателей – трехступенчатая. Защитная характеристика выключателей переменного тока приведена на рис. 5.

Полупроводниковый расцепитель (реле БПР) допускает ступенчатую регулировку номинального тока расцепителя I_n . расц. (ток срабатывания защиты от перегрузки соответствует току $1,25 I_n$. расц.); тока срабатывания отсечки $I_{с.о.}$ (точки А,Б,В,Г,Д); времени срабатывания защиты от перегрузки $t_{с.п.}$ при токе $6 I_n$. расц. (точки Е,Ж,И); времени

срабатывания отсечки т.о.о. (точки К,Л,М) для селективных выключателей. Значение тока мгновенного срабатывания $I_{с.мгн.}$ зависит от номинального тока выключателя.

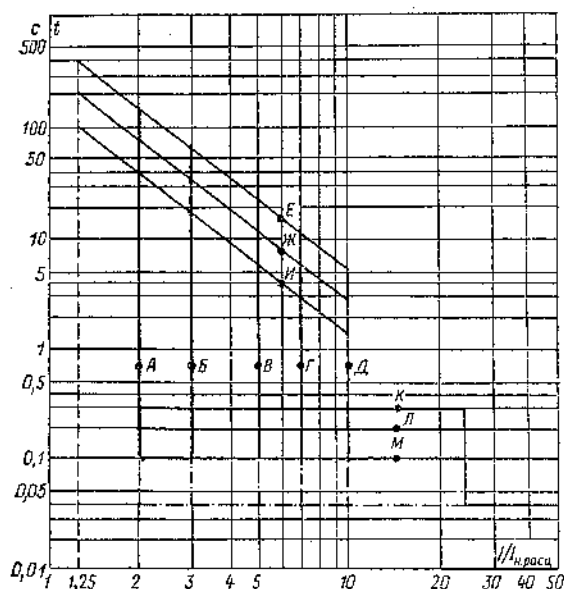


Рис. 5. Защитные характеристики выключателей переменного тока серий ВА53, ВА54, ВА55, ВА75 с полупроводниковым расцепителем

Наличие регулировки в точках Г, Д, К, Л, М зависит от типа и номинального тока выключателя

13.4.2. Источником оперативного тока полупроводникового реле (Б,П,Р), обеспечивающим отключение выключателя при к.з., являются встроенные трансформаторы тока.

Реле БПР может выполняться по заказу без защиты от перегрузки, а также с защитой от однофазных к.з., срабатывающей при токе однофазного к.з. не менее $0,5 I_{н.расц.}$ и не более $I_{н.расц.}$ (ток срабатывания не регулируется), с установленной выдержкой времени – для селективных и без выдержки времени – для неселективных выключателей. Характеристика защиты от однофазных к.з. ограничено зависит от тока (рис.6).

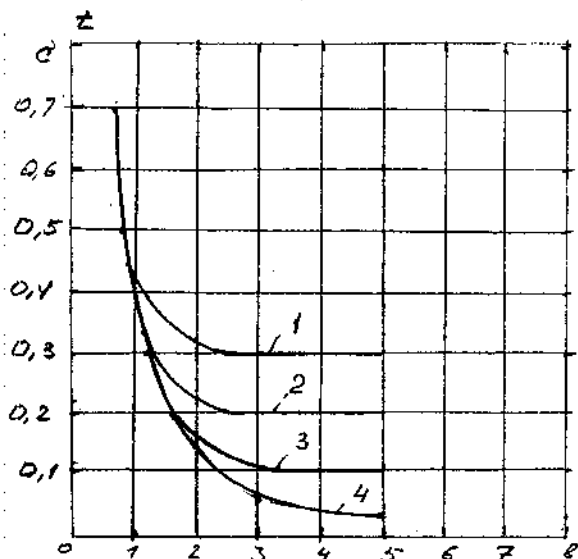


Рис. 6. Характеристика защиты от однофазных к.з. выключателей с полупроводниковыми расцепителями для селективных BA55 и BA75 с уставками срабатывания отсечки 0,3 сек (кривая 1), 0,2 сек (кривая 2), 0,1 сек (кривая 3) и неселективных BA 53, BA54 (кривая 4)

13.4.3. Выключатели с электромагнитными и тепловыми расцепителями.

Характеристика защиты – ограниченно зависимая для выключателей с комбинированными расцепителями и независимая – для выключателей с электромагнитными расцепителями.

Разброс тока срабатывания отсечки для новых выключателей +20%, для выключателей, находящихся в эксплуатации +30%.

Тепловые расцепители откалиброваны при температуре +40°C. Тепловые расцепители выключателей с номинальным током до 63А не срабатывают в течение менее 1 часа из нагретого состояния при токе 1,35 $I_{н.расц.}$ и срабатывают в течение менее 2 час. из нагретого состояния при токе 1,25 $I_{н.расц.}$

При нагрузке на всех полюсах ток срабатывания тепловых расцепителей увеличивается на 10% при двухполюсной нагрузке и на 20% при однополюсной нагрузке. Выключатели с номинальным током до 100А включительно имеют регулировку номинального тока тепловых расцепителей в пределах (0,8-1,0) $I_{н.расц.}$

Токоограничивающие выключатели серии ВА52 (кроме ВА 52-37 и ВА 52-39) состоят из базового нетокоограничивающего выключателя серии ВА51 и специального пристраиваемого токоограничивающего блока. Последний состоит из контактной системы, размыкающейся при отключении предельных токов, дугогасительных камер и механизма фиксации контактов в отключенном положении. Для последующего замыкания этих контактов необходимо нажать расположенные на блоке кнопки.

13.5. Автоматический выключатель серии АП 50.

13.5.1. Выключатель состоит из следующих основных узлов: механизма управления, контактной системы, дугогасительного устройства, максимальных расцепителей тока и дополнительных расцепителей. Он может иметь контакты вспомогательной цепи, являющимися самостоятельным узлом, связанным с траверсой главных контактов.

13.5.2. Основные расцепители максимального тока:

- комбинированный (МТ);
- электромагнитный (М);
- тепловой (Т).

13.5.3. Дополнительные расцепители (максимальный расцепитель тока в нулевом проводе – О, минимальный расцепитель напряжения – Н, независимый расцепитель – Д) устанавливаются в ближайшем полюсе к механизму управления выключателя взамен электромагнитного максимального расцепителя тока (М, Т, О, Н, Д – обозначение расцепителей в обозначении типоисполнения выключателя).

В зависимости от номинального тока главных цепей выключателя, они разделяются на типы: 1, 2, 3:

1 – 1,6; 2,5; 4А;

2 – 6,3; 10; 15А;

3 – 25, 40, 50, 63А.

13.5.4. Выключатели с тепловыми максимальными расцепителями тока при температуре окружающего воздуха $20 \pm 5^\circ\text{C}$ в холодном состоянии при прохождении переменного тока частотой 50 Гц через расцепители последовательного соединения полюсов:

а) не отключаются в течение одного часа при токе $1,05 I_n$;

б) отключаются при токах:

$1,35 I_n$ — за время не более 30 мин;

6In — за время от 1,5 до 15 сек.

Выключатели допускают повторное включение после их отключения тепловыми расцепителями не менее чем через 2 мин.

13.5.5. Устройство регулирования тепловых максимальных расцепителей тока обеспечивает изменение тока от номинального значения до 0,6 номинального поворотом рычага с допустимым отклонением по току +25% для любого положения.

Защитные характеристики и изменение срабатывания тепловых расцепителей в зависимости от температуры окружающей среды приведены в приложениях 28-31.

Как правило, тепловой расцепитель не может быть использован для защиты от токов к.з. ввиду большого времени срабатывания и больших разбросов времени.

Тепловой расцепитель обычно используется для защиты от перегрузок или длительного прохождения рабочего тока в защищаемом элементе, если последний не рассчитан на этот режим.

13.5.6. Мгновенный расцепитель максимального тока имеет два исполнения:

а) с кратностью 3,5 к номинальному току теплового расцепителя (разброс 3-4);

б) с кратностью 11 к номинальному току теплового расцепителя (разброс 8-14).

Время срабатывания этого расцепителя 0,017 - 0,02 сек.

Выключатели при температуре окружающего воздуха 20+5°C при прохождении переменного однофазного тока через мгновенные электромагнитные максимальные расцепители тока последовательно соединенных полюсов:

а) не отключаются, когда ток равен или менее 0,8 уставки отсечки;

б) надежно отключается, когда ток достигает значения 1,2 уставки отсечки.

13.5.7. Выключатели под действием максимального расцепителя тока в нулевом проводе:

а) не отключаются, когда ток равен или менее 0,8 номинального;

б) отключается, когда ток достигает значения 1,4 номинального.

Максимальный расцепитель тока в нулевом проводе допускает в продолжительном режиме нагрузку током 0,6 номинального.

13.5.8. Минимальный расцепитель напряжения:

а) обеспечивает отключение включенного выключателя при напряжении 70-35% от номинального;

б) не отключает включенный выключатель при напряжении выше 70% от номинального значения;

в) не препятствует включению выключателя при напряжении 85% от номинального и выше.

13.5.9. Независимый расцепитель надежно срабатывает при напряжении от 70 до 120 % номинального значения.

13.6. Автоматические выключатели серии АВМ-4.

13.6.1. Выпускаются двух- и трехполюсными, с ручным и дистанционным управлением. Защитные характеристики выключателей одинаковы при работе на постоянном и переменном токе. Выключатели имеют комбинированные электромагнитные расцепители.

При малых кратностях тока якорь зависимого расцепителя медленно притягивается к сердечнику и через систему пружин, являющуюся в этом режиме жесткой связью, ведет часовой механизм, создающий выдержку времени. По истечении выдержки времени освобождается часовой механизм, якорь продвигается дальше и освобождает механизм свободного расцепления. После этого выключатель отключается своими пружинами.

Ток срабатывания этого расцепителя регулируется грубо изменением количества витков обмотки и плавно изменением натяжения пружины. Часовой механизм имеет три уставки: "О", "Мин." и "Макс." При уставке "О" выключатель отключается мгновенно, при уставке между "О" и "Мин." время отключения неустойчиво и изменяется от нуля до небольшого, но неопределенного значения. При уставке между "Мин." и "Макс." выдержка времени достаточна стабильна.

13.6.2. Независимый расцепитель по принципу работы аналогичен реле типа РТВ. При больших кратностях тока якорь притягивается мгновенно и натягивает пружину второго часового механизма. При истечении установленной независимой выдержки времени уставка 0,25-0,4 или 0,4-0,6. Зависимый расцепитель в этом случае начинает работать, но дорабатывать не успевает.

Расцепители характеризуются номинальным током срабатывания зависимого и независимого расцепителей, а также выдержкой времени в независимой части характеристики.

Независимый расцепитель выключателя предназначен для защиты от к.з. Зависимый расцепитель используется для защиты от перегрузок и является резервным при к.з.

14. Техническое обслуживание автоматических выключателей серий АЕ 20, А3100

14.1. Общие положения.

14.1.1. Перед выполнением работ по проверке новых выключателей, подготавливаемых к вводу в работу, или по техническому обслуживанию выключателей, находящихся в эксплуатации, необходимо ознакомиться с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, полученными в комплекте с выключателем.

14.1.2. Выключатели рассчитаны для работы без замены каких-либо частей. Встроенные в выключатели тепловые и электромагнитные расцепители максимального тока регулируются на заводе -изготовителе выключателей. Перед вводом в работу и в процессе эксплуатации должны выполняться только проверка соответствия уставок и характеристик расцепителей питаемой через них нагрузки и проверка работоспособности расцепителей для гарантии отключения ими возможных токов перегрузки и короткого замыкания.

14.1.3. Зависимость номинального рабочего тока и начального тока гарантированного срабатывания тепловых расцепителей выключателей серии АЕ20 зависит от температуры окружающего воздуха. На табличке крышки выключателя указывается номинальный ток теплового расцепителя, соответствующий температуре окружающей среды +40°C для выключателей без температурной компенсации, а для выключателей с температурной компенсацией указывается значение номинального тока соответствует температуре +20°C.

При указанных температурах окружающего воздуха выключатели серии АЕ20 из холодного состояния при протекании тока по всем их полюсам:

- не срабатывает при токе $1,05 I_{ном.}$ за время менее 2 часов (для выключателей на номинальные токи свыше 63А) и менее 1 часа (для выключателей на номинальные токи до 64А);

- гарантировано срабатывание при токе $1,25 I_{ном.}$ за время не более 20 мин. (для выключателей с температурной компенсацией) и не более 30 мин. (для выключателей без температурной компенсации на номи-

нальные токи свыше 63А). Выключатели без температурной компенсации на номинальные токи свыше 63А срабатывают при токе 1,35 I_{ном}.

14.1.4. Защитные (время-токовые) характеристики выключателей при различной температуре окружающего воздуха приводятся в справочных материалах.

14.1.5. На табличке выключателей серии АЗ100 указывается номинальный ток (I_{ном}) и уставка тока срабатывания теплового расцепителя, равная 1,25 I_{ном} при температуре окружающего воздуха +25°C, при условии протекания тока по всем полюсам выключателя.

Ток гарантированного несрабатывания выключателя равен 1,1 I_{ном} (для всех выключателей серии АЗ100).

Ток гарантированного срабатывания выключателя равен:

1,35 I_{ном}. – для выключателей АЗ160;

1,45 I_{ном}. – для выключателей АЗ110-АЗ140.

При токе гарантированного срабатывания теплового расцепителя время отключения выключателя не более 1 часа.

14.2. Проверка выключателей перед вводом в работу.

14.2.1. Перед вводом в работу нового выключателя должны быть выполнены следующие проверки:

- проверка соответствия технических характеристик устанавливаемого выключателя требуемому режиму работы электроустановки;
- визуальный контроль состояния выключателя и проверка работоспособности его механизма управления;
- проверка работоспособности тепловых расцепителей максимального тока;
- проверка работоспособности электромагнитных расцепителей максимального тока;
- проверка работоспособности независимого расцепителя и расцепителя минимального напряжения (если они используются в схеме);
- измерение сопротивления и испытание электрической прочности изоляции выключателя.

По результатам проверки должен быть составлен протокол соответствующей формы.

14.3. Проверка соответствия технических характеристик устанавливаемого выключателя режиму работы электроустановки.

14.3.1. Заводские данные, указанные на табличке (крышке) выключателя должны соответствовать указанным в проекте.

14.3.2. Наибольший ток нагрузки не должен превышать номинальный ток выключателя (теплового расцепителя) с учетом изменения номинального тока в зависимости от температуры окружающей среды в месте установки защиты.

$I_{нагр.} \leq 1,1 I_{ном.}$ (для выключателей серии АЗ100);

$I_{нагр.} \leq 1,05 I_{ном.}$ (для выключателей серии АЕ 20).

В случае если нагрузка превышает указанное значение, то необходимо уменьшить нагрузку или заменить выключатель выключателем с большим номинальным током теплового расцепителя.

На выключателях серии АЕ 20 с регулированием номинального тока можно без замены выключателя выполнить изменения номинального тока путем изменения положения регулятора уставки номинального тока.

14.3.3. Проверить по защитным (время-токами) характеристикам, время отключения выключателя тепловыми расцепителями при расчетном токе к.з. и допустимость этого времени (с учетом снижения напряжения) условиям технологии работы потребителей, питаемых от рассматриваемой электроустановки.

14.3.4. Проверить селективность работы защиты на подготавливаемом к включению в работу присоединении.

Проверить остроту тока срабатывания электромагнитных расцепителей от возможных технологических перегрузок (пусковые токи, пики технологической нагрузки, тока самозапуска и т.п.) по следующей формуле:

$I_{отс} \geq K_z K_{д.о.} K_{п.п.} K_{п} I_{ном.д.},$

где:

$I_{отс}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя (А), указанный на табличке (крышке) выключателя серии АЗ100, а для выключателей серии АЕ 20 – это ток срабатывания, определенный умножением кратности тока отсечки на номинальный ток, указанный на крышке этого выключателя;

K_z – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,1;

$K_{д.о.}$ – коэффициент возможного (допустимого) отклонения тока срабатывания электромагнитного расцепителя, коэффициент принимается равным:

1,2 – для выключателей серии АЕ 20;

1,33 – для выключателей серии АЗ110;

1,15 – для выключателей серии АЗ140.

Ка.п. – коэффициент, учитывающий аperiodическую составляющую пускового тока.

Указанный коэффициент для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора принимается равным следующим значениям:

1,1 – для электродвигателей с номинальным током до 17А;

1,2 – для электродвигателей с номинальным током от 17 до 100А;

1,4 – для электродвигателей с номинальным током свыше 100А;

Кп. – кратность пускового тока электродвигателя или технологической нагрузки;

Ином.д. – номинальный ток для электродвигателя или другой технологической нагрузки.

14.3.5. Проверить коэффициенты чувствительности теплового и электромагнитного токовых расцепителей при однофазном и двухфазном коротком замыкании в основной и резервной зонах. Полученные коэффициенты сравнить с требуемыми согласно ПУЭ.

14.4. Визуальный контроль состояния выключателя.

14.4.1. Проверить целостность заводских пломб нового выключателя, отсутствие грязи, пыли, трещин на кожухе выключателя, других его частях, исправность зажимов для подключения внешних проводников.

На смонтированном выключателе проверить правильность его монтажа, плотность крепления на панели, плотность затяжки винтов крепления внешних проводников к зажимам главных и вспомогательных контактов и зажимам дополнительного (независимого или минимального) расцепителя.

14.4.2. Корпус выключателя должен быть чистым, не иметь трещин и надколов. Плотность крепления выключателя должна быть ровной. Внешние проводники должны быть плотно закреплены и не должны создавать усилий, способных отогнуть выводные зажимы. Места соединения внешних проводников с выводными зажимами должны быть чистыми без следов окисления.

Проводники от источника тока должны быть присоединены к верхним зажимам выключателя, а от приемника – к нижним.

14.4.3. На выключателях серии АЗ100 с передним присоединением отходящих проводников проверить, чтобы выступающие из выключателя со стороны дугогасительных камер части кабельных нако-

нечников, а в случае присоединения шин или неизолированных проводников также и сами проводники были изолированы по длине 200 мм. Изолированная часть кабельного наконечника или проводника должна несколько заходить внутрь колодки зажимов выключателя. Изоляция может выполняться двумя слоями изоляционной ленты.

14.4.4. Пластины, закрывающие отверстия для выводов в корпусе выключателей АЗ130, АЗ140, при переднем присоединении внешних проводников должны быть пригнаны по проводникам.

14.5. Проверка работы механизма управления.

14.5.1. Провести включение и отключение выключателя (пять раз).

При включении и отключении механизма вручную ручка механизма управления не должна задевать крышку выключателя. Включение и отключение выключателя должны быть моментальными независимо от скорости движения рукоятки.

14.5.2. При проверке механизма управления проверить пробником четкость замыкания и размыкания вспомогательных контактов (блок-контактов).

14.6. Проверка работоспособности тепловых расцепителей.

14.6.1. При проверке выключатель должен находиться в рабочем положении (установлен на вертикальной плоскости выводами неподвижных контактов вверх, допускается поворот на 90° вправо или влево) с закрытой крышкой.

Проверку рекомендуется выполнять 3-х-5-кратным током от значения номинального тока теплового расцепителя, указанного на крышке выключателя с учетом изменения этого тока в зависимости от температуры окружающей среды (t), в месте установки выключателя. Допустимый ток теплового расцепителя пересчитывается по формуле:

$$I_T = I_N [1 + 0,006(t_1 - t)]$$

I_T – допустимый ток при температуре окружающего воздуха ($t^\circ\text{C}$), А;

I_N – номинальный ток теплового расцепителя, указанный на табличке (крышке) выключателя, А;

t_1 – температура, соответствующая заводской настройке номинального тока расцепителя, $^\circ\text{C}$;

+25 – для выключателей серии АЗ100;

+20 – для выключателей серии АЕ 20 с температурной компенсацией;

+40 – для выключателей серии АЕ 20 без температурной компенсации.

14.6.2. После каждого включения тока проверки теплового расцепителя необходимо охлаждение выключателя и расцепителя до температуры окружающей среды.

14.6.3. При токах проверки, больших трехкратного от номинального тока выключателя, время срабатывания теплового расцепителя мало зависит от температуры внешних проводников, которыми подключается выключатель у схеме (устройству) для проверки. Однако при проверке необходимо обеспечить плотное контактное соединение указанных проводников с выводами выключателя для исключения нагрева, из-за которого возможна неправильная работа теплового расцепителя.

14.6.4. Схема для проверки работоспособности расцепителей выключателей приводится на корпусе или в заводской документации завода-изготовителя устройства.

14.6.5. Значения кратностей токов относительно номинальных токов тепловых расцепителей при различной температуре окружающего воздуха и пределы допустимого времени срабатывания тепловых расцепителей для различных типов выключателей приведены в таблицах 5,6.

14.6.6. Методы проверки тепловых расцепителей.

Проверку следует производить в следующей последовательности:

а) подключается устройство (схема) к одному из полюсов выключателя, который используется в качестве эквивалентного сопротивления;

б) включается схема проверки и устанавливается регулировочным устройством необходимое (из таблицы 5 или 6) значение тока при имеющейся температуре окружающей среды;

в) отключается от сети схема без изменения положения рукоятки регулирующего устройства тока и провода, соединяющие устройство с проверяемым выключателем, переключаются на другой полюс выключателя;

г) включается схема (устройство) и при заданном значении тока измеряется время до момента отключения выключателя (в процессе нагрева теплового расцепителя поддерживается регулировочным устройством требуемое значение);

Таблица 5

Типо- исполнение выключателя	Кратность тока проверки теплового расцепителя относительно его номинального тока при температуре окружающего воздуха, °С									Пределы допу- стимого времени срабатывания теплового расцепи- теля до отключения выключателя при указанной кратности тока проверки, с
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
A3160	3,42 4,56	3,33 4,44	3,24 4,32	3,15 4,2	3,045 4,06	3,0 4,0	2,85 3,8	2,73 3,67	2,64 3,52	5,0–25 2,7–10
A3110	4,56 5,7	4,44 5,55	4,32 5,4	4,2 5,25	4,06 5,075	4,0 5,0	3,8 4,75	3,67 4,55	3,52 4,4	6,0–20 3,8–10
A3120 $I_{ном}=15-50\text{ A}$	4,56 5,7	4,44 5,55	4,32 5,4	4,2 5,25	4,06 5,075	4,0 5,0	3,8 4,75	3,67 4,55	3,52 4,4	7,5–32 15–50
A3120 $I_{ном}=60-100\text{ A}$	4,56 5,7	4,44 5,55	4,32 5,4	4,2 5,25	4,06 5,075	4,0 5,0	3,8 4,75	3,67 4,55	3,52 4,4	25–80 15–50
A3130	4,56 5,7	4,44 5,55	4,32 5,4	4,2 5,25	4,06 5,075	4,0 5,0	3,8 4,75	3,67 4,55	3,52 4,4	7,5–30 4,0–15
A3140	5,7	5,55	5,4	5,25	5,075	5,0	4,75	4,55	4,4	20–37

Таблица 6

Исполнение выключателя	Кратность тока проверки теплового расцепителя относительно его номинального тока при температуре окружающего воздуха, °C								Пределы допустимого времени срабаты- вания теплового расцепителя до отключения выключателя при указанной крат- ности тока проверки, с
	0	5	10	15	20	25	30	40	
Выключатели с теп- ловыми и электро- магнитными расцепи- телями без темпера- турной компенсации с номинальным током от 0,6 до 12,5 А	6,33 8,86	6,16 8,63	6,0 8,4	5,83 8,16	5,66 7,93	5,5 7,7	5,33 7,47	5,0 7,0	7,8–29,5 4–15
То же с номинальным током от 16 до 160 А	6,33 8,86	6,16 8,63	6,0 8,4	5,83 8,16	5,66 7,93	5,5 7,7	5,33 7,47	5,0 7,0	2–7 1–3,5
Выключатели с тепло- выми и электромаг- нитными расцепителя- ми с температурной компенсацией	5,4 7,56	5,3 7,42	5,2 7,28	5,1 7,14	5,0 7,0	4,9 6,86	4,8 6,72	4,7 6,44	6–30 3–15
Выключатели AE20M только с тепловыми расцепителями без температурной ком- пенсации	6,0 8,4	5,87 8,2	5,75 8,05	5,62 7,87	5,5 7,7	5,37 7,5	5,25 7,35	5,0 7,0	2–7 1–3,5

д) отключается схема без изменения положения рукоятки регулирующего устройства тока и провода переключаются на третий полюс выключателя;

е) аналогично п.г производится проверка третьего полюса;

– отключается схема (устройство) без изменения положения рукоятки регулировочного устройства тока, провода переключаются на первый полюс и выполняется его проверка, аналогично указанному в п.г.

если выключатель за минимально допустимое время протекания заданного тока проверки не отключается, то он неисправен и подлежит замене.

14.7. Проверка работоспособности электромагнитных расцепителей.

14.7.1. Проверка должна выполняться при рабочем положении выключателя (выключатель устанавливается на вертикальной плоскости выводами неподвижных контактов вверх, возможен поворот на 90 влево или вправо) для каждого полюса отдельно.

14.7.2. Для обеспечения сохранности выключателей от термического воздействия тока проверка электромагнитного расцепителя должна производиться только после проверки работоспособности тепловых расцепителей, которые автоматически обеспечивают защиту выключателя от недопустимого времени протекания тока проверки электромагнитного расцепителя. На выключателях без тепловых расцепителей проверку рекомендуется выполнять с помощью устройств, имеющих блок защиты для предотвращения недопустимого времени протекания тока проверки в зоне тока срабатывания электромагнитного расцепителя. Указанное условие обязательно при проверке электромагнитного расцепителя выключателей, для которых допустимое время протекания тока проверки из-за термической стойкости не превышает 305сек.

14.7.3. Электромагнитные максимальные расцепители тока выключателей серии АЕ 20 не должны срабатывать при токе, равным или меньшим 0,8 уставки по току, а должны гарантировано срабатывать при токе равным или большим 1,2 уставки по току. Уставка по току срабатывания (ток отсечки) определяется умножением номинального тока на кратность тока отсечки, указанных на табличке (крышке) выключателя.

14.7.4. Верхние и нижние пределы тока срабатывания (предельные отклонения) электромагнитного расцепителя, а также максималь-

но допустимое время протекания указанных токов при проверке различных типов выключателей серии АЗ100 приведены в таблице 7.

Таблица 7

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальная уставка тока срабатывания электромагнитного расцепителя, А	Ток срабатывания ЭМР и максимально допустимое время нахождения выключателя под током					
			несрабатывания (нижний предел)		гарантированного срабатывания (верхний предел)			
			ток, А	время, с	при переменном токе		при постоянном токе	
					ток, А	время, с	ток, А	время, с
АЗ110	15	150	100	98	200	24,5	240	17
	20	200	140	50	260	14,5	360	7,5
	25	250	170	34	330	9,0	400	6,1
	30	300	210	22	390	6,4	480	4,2
	40	400	280	12,5	520	3,6	640	2,4
	50	500	350	8,0	650	2,3	800	1,5
	60	600	420	5,5	780	1,6	960	1,0
	80	800	560	3,1	1050	0,9	1240	0,6
	100	1000	700	2,0	1300	0,6	1600	0,4
АЗ120	15,20, 25,30	430	360	47	500	24,5	650	14,5
	40,50 и 60	600	510	23	700	12,5	900	7,5
	80 и 100	800	680	13	950	6,7	1200	4,2
АЗ130	100	800	680	53	920	29	1350	13
	120	840	700	50	1000	24	1400	12
	150	1050	900	30	1200	17	1700	8,4
	200	1400	1150	18	1600	9,5	2300	4,6
АЗ140	250	1750	1500	50	2000	28	2000	28
	300	2100	1800	34	2400	19	2400	19
	400	2800	2350	20	3200	11	3200	11
	500	3500	3000	12	4000	7,0	4000	7,0

14.7.5. При проверке выключателей, находящихся в эксплуатации, возможно дополнительное отклонение уставок токов срабатывания на значение до 10% от указанных для выключателей серии АЕ 20 и до 15% – для выключателей серии АЗ100.

14.7.6. Максимально допустимое время нахождения выключателей серии АЕ 20 под током проверки электромагнитного расцепителя определяется по таблице 8.

Таблица 8.

Кратность тока отсечки	Возможная кратность тока срабатывания при проверке ЭМП	Максимально допустимое время протекания тока проверки ЭМП, сек.
3	2,4	100
	3,0	65
	3,6	40
5	4,0	28
	5,0	12
	6,0	7
12	9,6	2,7
	12,0	1,7
	14,4	1,2

14.7.7. Методы проверки работоспособности электромагнитных расцепителей.

Первый метод проверки. Проверка выполняется без контроля значения тока срабатывания электромагнитного расцепителя.

Установить ток от устройства для проверки выключателя, включенного через короткую или эквивалентное сопротивление (для выключателей с номинальным током до 10А), примерно равным верхнему пределу допустимого отклонения тока срабатывания электромагнитного расцепителя. Не изменяя положения регулятора тока устройства, подключить поочередно к каждому полюсу выключателя провода от нагрузочного устройства и включая его кратковременно (на время не более определяемого термической стойкостью выключателя), имеет ли место мгновенное отключение выключателя. Если выключатель мгновенно не отключается, то до отключения его тепловым расцепителем или указанной выше специальной защитой (для выключателей без теплового расцепителя), необходимо увеличить ток, протекающий через выключатель на 10-20% по сравнению с установленным ранее и повторить проверку.

В выключателях с комбинированным (тепловым и электромагнитным) расцепителем для определения, каким расцепителем отключен выключатель, необходимо после отключения выключателя быстро отключить схему проверки от сети и попытаться включить выключатель (взвести механизм свободного расцепления). Если же выключатель не включается, то это указывает на то, что он отключен тепловым расцепителем. В этом случае необходимо после остывания теплового расцепителя повторить проверку. Продолжительность остывания теплового расцепителя для выключателей серии АЕ 20 составляет примерно 2 мин, для выключателей серии А 3110 и А 3160 – 1 мин, А 3120 – 2,5 мин, А 3130 – 3 мин, А 3140 – 4 мин.

Второй метод проверки. Проверка выполняется с контролем тока срабатывания электромагнитного расцепителя.

Проверка выполняется в следующем порядке.

Подключается один полюс выключателя к устройству. Установить предварительный ток, примерно равный номинальному току выключателя, а затем быстро увеличить его до отключения выключателя. Определить, как указано выше, каким расцепителем отключился выключатель. Если он отключился электромагнитным расцепителем, то произвести запись показаний амперметра, и кнопкой "сброс" вернуть показания амперметра к нулевому значению.

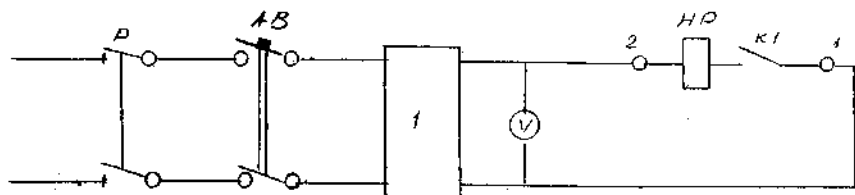
Аналогично проверить ток срабатывания электромагнитного расцепителя на других полюсах выключателя.

Если выключатель отключился тепловым расцепителем или отключилось устройство для проверки защитой от предотвращения недопустимого времени протекания тока проверки, то необходимо повторить проверку, увеличив скорость достижения тока срабатывания электромагнитного расцепителя.

Если имеет место отказ в срабатывании электромагнитного расцепителя, то вводить в работу выключатель недопустимо.

14.8. Проверка работоспособности независимого расцепителя.

14.8.1. Проверка выполняется по нижеприведенной схеме:



Р – рубильник;

AB – автоматический выключатель;

НР – независимый расцепитель;

K1 – вспомогательный контакт в цепи независимого расцепителя;

1 – регулировочное устройство.

14.8.2. Независимый расцепитель должен четко срабатывать и отключать выключателем при напряжении от 75 до 110% номинального на выключателях серии А 3100 и от 70 до 120% номинального на выключателях серии АЕ 20. Пауза между двумя последовательными отключениями должна быть не менее 15 сек.

Допускается не проверять отдельно работоспособность независимого расцепителя, а ограничиться проверкой его при опробовании взаимодействия схемы вторичных цепей при пониженном или повышенном напряжении оперативного тока.

14.9. Проверка работоспособности расцепителя минимального напряжения.

14.9.1. Расцепители минимального напряжения устанавливаются только на выключателях серии АЕ 20 и АЕ 20М. Для проверки необходимо подать на верхние выводные зажимы отключенного выключателя напряжение 85% номинального и убедиться, что выключатель включился, снизить напряжение до 70%, а затем до 35% номинального. При снижении напряжения до 70% номинального под действием расцепителя минимального напряжения выключатель не должен отключаться, а при снижении напряжения от 70 до 35% номинального выключатель должен отключаться.

14.9.2. При напряжении ниже 35% номинального расцепитель минимального напряжения должен всегда четко отключать выключатель.

14.10. Измерение сопротивления и испытания электрической прочности изоляции выключателя.

14.10.1. Измерение производится для каждого полюса (при включенном выключателе) относительно конструкции крепления выключа-

теля и других полюсов мегаомметром на напряжение 1000В. Сопротивление изоляции при температуре 20-25°C новых выключателей должно быть не менее 50 МОм. После хранения сопротивление изоляции не должно быть ниже 1 МОм.

14.10.2. Сопротивление электрической прочности изоляции производится для каждого полюса относительно конструкции крепления выключателя и других полюсов выключателя напряжением 1000В переменного тока частотой 50Гц в течение 1 мин. или мегаомметром напряжением 2500В в течение 1 мин.

14.10.3. Если сопротивление изоляции ниже указанного или имеет место пробой изоляции при испытании повышенным напряжением, то на выключателях серии А 3100 необходимо снять крышку и по возможности устранить причину пробоя. При обнаружении пониженного сопротивления изоляции или пробоя на выключателях серии АЕ 20 в период гарантийного срока необходимо выключатель направить с актом рекламации заводу-изготовителю для ремонта.

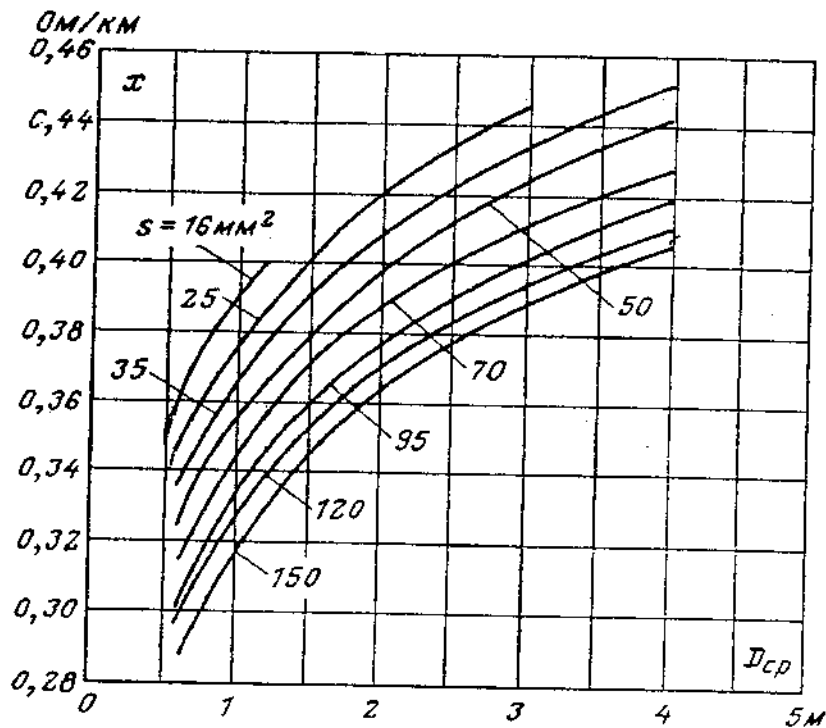
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ, 6-е изд. 1986г.)
2. Правила технической эксплуатации электростанций и сетей (ПТЭ, 14-е изд., 1989г.)
3. Расчет, выбор и эксплуатация защит электрических сетей напряжением 0,38кВ (ТЭО Белорусэнерго, 1992 г.)
4. Шабад М.А. Защита трансформаторов 10кВ (Энергоатомиздат, 1989 г.)
5. Голубев М.Л.. Расчет токов короткого замыкания в электро-сетях 0,4-35кВ (2-е изд. Энергия, 1980 г.)
6. Голубев М.Л. Расчет уставок релейной защиты и предохранителей в сетях 0,4-35кВ (Энергия, 1969 г.).
7. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4кВ (Энергоатомиздат, 1988 г.).
8. Беляева Е.Н. Как рассчитать ток короткого замыкания (Энергоатомиздат, 1983 г.).
9. Выключатели серий АВМ, АЕ, ВА, АП-50, А 3700 (техническое описание и инструкция по эксплуатации заводов-изготовителей).
10. Методические указания по техническому обслуживанию автоматических выключателей серий АЕ 20, А 3100 (Москва, 1991 г.).
11. Овчинников В.В. Защита электрических сетей 0,4-35кВ (Энергопрогресс, Москва, 2002 г.).

Провода алюминиевые и сталеалюминиевые

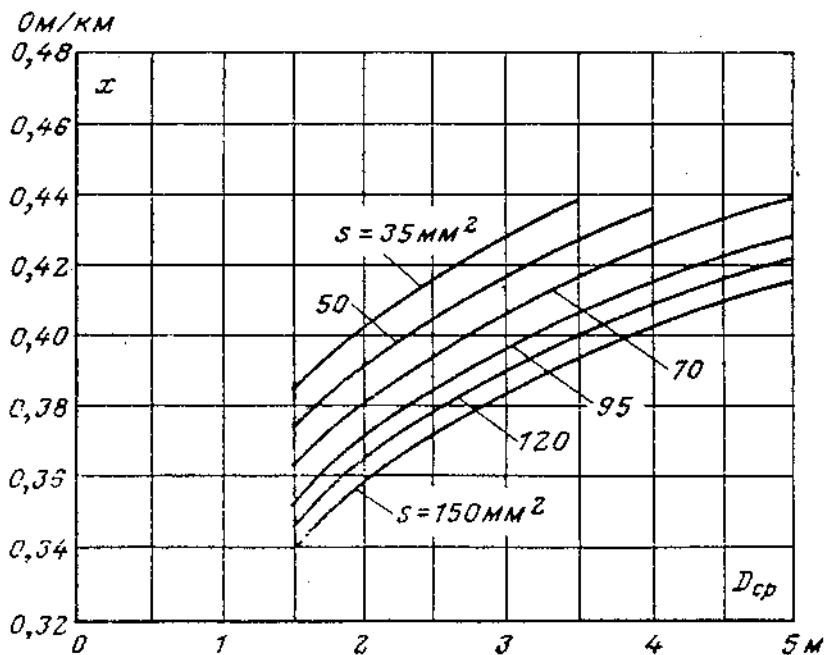
Номинальное сечение, мм ²	Алюминиевые		Сталеалюминиевые		
	действительное сечение, мм ²	сопротивление постоянному току при t=20 Ом/км	действительное сечение, мм ²		сопротивление постоянному току при t=20 Ом/км
			алюминия	стали	
16	15,9	1,8	16,1	2,69	1,772
25	24,9	1,14	24,9	4,15	1,146
35	34,3	0,83	36,9	6,15	0,773
50	49,5	0,576	48,2	8,04	0,592
70	69,2	0,412	68,0	11,3	0,42
95	92,4	0,308	95,4	15,9	0,299
120	117,0	0,246	118,0	18,8	0,245

Индуктивное сопротивление линий с алюминиевыми проводами



Примечание. Цифры у кривых обозначают сечение проводов (mm^2)

Индуктивное сопротивление линий со сталеалюминиевыми проводами



Примечание. Цифры у кривых обозначают сечение проводов (mm^2)

**Удельное сопротивление
кабелей с алюминиевыми жилами**

Сечение жил, мм ²		R, Ом/км	X ₀ , Ом/км	
фазных	нулевой		трехжильный кабель	четырёхжильный кабель
3x4	2,5	9,61	0,092	0,098
3x6	4	6,41	0,087	0,094
3x10	6	3,84	0,082	0,088
3x16	10	2,4	0,078	0,084
3x25	16	1,54	0,062	0,072
3x35	16	1,1	0,061	0,068
3x50	25	0,769	0,06	0,066
3x70	35	0,549	0,059	0,065
3x95	50	0,405	0,057	0,064
3x120	50	0,32	0,057	0,064
3x150	70	0,256	0,056	0,063
3x185	70	0,208	0,056	0,063
3x240	—	0,16	0,055	—

**Полное сопротивление цепи «фаза-нуль» четырехпроводной
воздушной линии 0,4кВ с алюминиевыми проводами**

Фазный провод	Рассто- яние фаза- нуль, м	Полное сопротивление, Ом/км при нулевом проводе						
		A-16	A-25	A-35	A-50	A-70	A-95	A-120
A-16	0,4	4,86	–	–	–	–	–	–
	1,0	4,87	–	–	–	–	–	–
	2,0	4,88	–	–	–	–	–	–
A-25	0,4	4,01	3,18	2,76	2,43	–	–	–
	1,0	4,04	3,21	2,79	2,46	–	–	–
	2,0	4,05	3,23	2,81	2,49	–	–	–
A-35	0,4	3,59	2,76	2,53	2,01	1,78	–	–
	1,0	3,62	2,79	2,57	2,05	1,82	–	–
	2,0	3,63	2,81	2,59	2,08	1,86	–	–
A-50	0,4	3,25	2,43	2,01	1,69	1,47	1,35	–
	1,0	3,28	2,46	2,05	1,73	1,53	1,40	–
	2,0	3,30	2,49	2,08	1,77	1,58	1,45	–
A-70	0,4	–	2,21	1,78	1,47	1,28	1,15	1,08
	1,0	–	2,25	1,82	1,53	1,34	1,21	1,14
	2,0	–	2,28	1,86	1,58	1,39	1,27	1,20
A-95	0,4	–	2,07	1,66	1,35	1,15	1,02	0,95
	1,0	–	2,11	1,77	1,40	1,21	1,09	1,03
	2,0	–	2,14	1,75	1,45	1,27	1,15	1,09
A-120	0,4	–	–	1,58	1,27	1,08	0,95	0,85
	1,0	–	–	1,63	1,33	1,14	1,03	0,93
	2,0	–	–	1,67	1,38	1,20	1,09	1,0

**Полное сопротивление цепи «фаза-нуль» алюминиевого
четырёхжильного кабеля без металлической оболочки
и четырехпроводной линии 0,4кВ с изолированными проводами**

Сечение фазного провода, мм ²	Полное сопротивление Zп Ом/км, для сечения нулевого провода, мм ²						
	16	25	35	50	70	95	120
16	4,43	3,7	3,35	–	–	–	–
25	3,7	2,96	2,54	2,22	–	–	–
35	3,35	2,54	2,12	1,8	1,59	–	–
50	3,06	2,22	1,8	1,48	1,27	1,03	–
70	–	2,02	1,59	1,27	1,06	0,92	–
95	–	–	1,45	1,13	0,92	0,78	–
120	–	–	1,37	1,05	0,84	0,7	0,62
150	–	–	–	0,99	0,82	0,67	0,52
240	–	–	–	0,96	0,53	0,59	0,51

**Активные и индуктивные сопротивления прямоугольных
алюминиевых шин**

Размер, мм	Активное сопротив- ление, мОм/м	Индуктивное сопротивление, мОм/м при Дср, мм			
		100	150	200	300
25x3	0,475	0,179	0,2	0,225	0,244
30x3	0,394	0,163	0,189	0,206	0,235
30x4	0,296	0,163	0,189	0,206	0,235
40x4	0,222	0,145	0,170	0,189	0,214
40x5	0,177	0,145	0,170	0,189	0,214
50x5	0,142	0,137	0,1565	0,18	0,200
50x6	0,118	0,137	0,1565	0,18	0,200
60x6	0,099	0,1195	0,145	0,163	0,189
60x8	0,074	0,1195	0,145	0,163	0,189
80x8	0,055	0,102	0,126	0,145	0,170
80x10	0,0445	0,102	0,126	0,145	0,170
100x10	0,0355	0,09	0,1127	0,133	0,157
2(60x8)	0,037	0,12	0,145	0,163	0,189
2(80x8)	0,0277	–	0,126	0,145	0,170
2(80x10)	0,0222	–	0,126	0,145	0,170
2(100x10)	0,0178	–	–	0,133	0,157

**Среднее сопротивление автоматических выключателей
и рубильников**

Номинальный ток, А	Сопротивления расцепителей автоматических выключателей, МОм		Сопротивление контактов, МОм	
	R	x	автоматических выключателей	рубильников
50	5,15	2,7	1,3	–
70	2,35	1,3	1,0	–
100	1,3	0,85	0,75	0,5
140	0,74	0,55	0,65	–
200	0,36	0,28	0,6	0,4
400	0,15	0,1	0,4	0,4
600	0,12	0,084	0,25	0,15
1000	–	–	–	0,08

Сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока типа ТКФ

Номинальный ток, А	ТКФ-1		ТКФ-3	
	R, мОм	X, мОм	R, мОм	X, мОм
10	170	270	75	70
15	75	120	33	30
20	42	67	19	17
30	20	30	8,2	8
40	11	17	4,8	4,2
50	7	11	3,0	2,8
75	3	4,8	1,3	1,2
100	1,7	2,7	0,75	0,7
150	0,75	1,2	0,33	0,3
200	0,42	0,67	0,19	0,17
300	0,2	0,3	0,08	0,08
400	0,11	0,17	0,05	0,04
600	0,05	0,07	0,02	0,02

**Сопротивления трансформаторов 10/0,4кВ, приведенные
к напряжению 0,4 кВ**

Мощность, кВА	Uк, %	R, Ом	X, Ом	Z _T , Ом	Z _T , Ом	Z _T /3, Ом
25	4,5	0,1539	0,2436	0,287	3,11	1,037
40	4,5	0,088	0,157	0,18	1,949	0,65
63	4,5	0,052	0,102	0,114	1,237	0,411
100	4,5	0,0315	0,0647	0,072	0,779	0,26
160	4,5	0,0166	0,0417	0,045	0,487	0,162
250	4,5	0,0094	0,0272	0,0287	0,312	0,104
400	4,5	0,0055	0,0171	0,018	0,195	0,065
630	5,5	0,0031	0,0136	0,014	0,129	0,043
1000	5,5	0,002	0,0085	0,0088	0,081	0,027

**Рекомендуемые значения номинальных токов плавких вставок
предохранителей для защиты трансформаторов 10/0,4кВ**

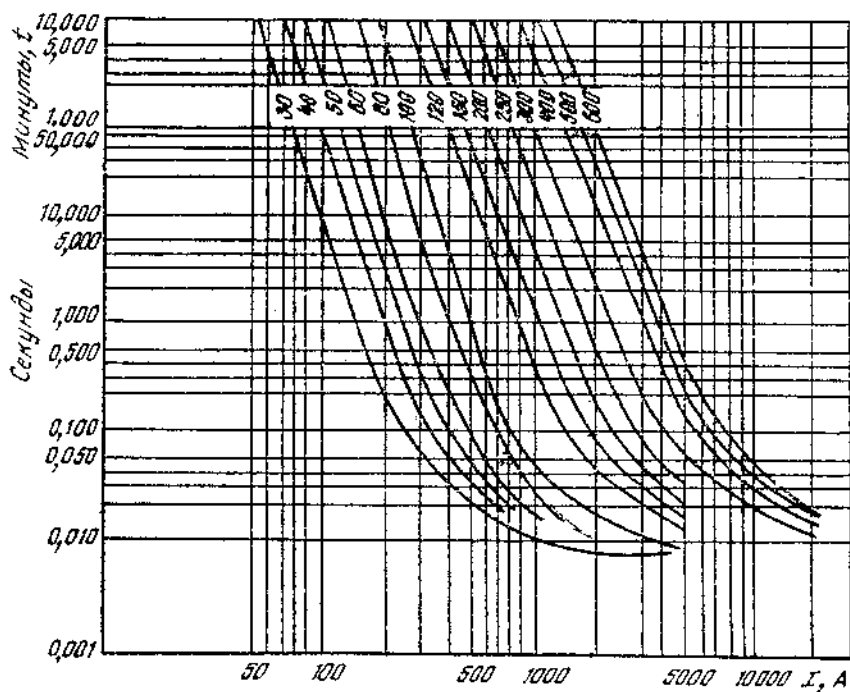
Мощность, кВА	Номинальный ток, А				Ток трехфаз. к.з. за транс-ром (отнесен. к 0,4кВ), А	Ток однофаз- ного к.з. за транс-ром (отнесен. к 0,4 кВ), А
	трансформатора на стороне		предохранителя на стороне			
	0,4кВ	10кВ	0,4кВ	10кВ		
25	36	1,44	40	3	805	222,8
40	58	2,31	63	5	1285	355,4
63	91	3,64	100	10	2050	562
100	145	5,80	160	16	3220	888,5
160	231	9,25	250	20	5130	1426
250	360	14,4	400	31,5	8050	2221
400	580	23,1	630	50	12850	3554
630	910	36,4	1000	80	22500	5372

Технические параметры предохранителей 0,4кВ

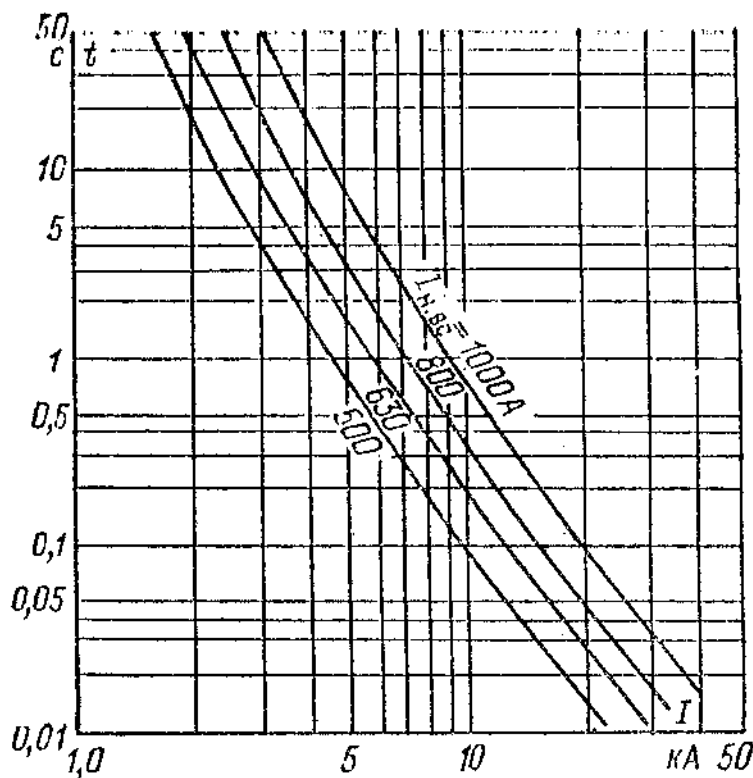
Тип	Номинальный ток, А		Предельный отключаемый ток, А
	патрона предохранителя	плавкой вставки	
НПН2-60	60	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 63	10
ПН2-100	100	31,5; 40, 50, 63, 80, 100	100
ПН2-250	250	80, 100, 125, 160, 200, 250	100
ПН2-400	400	200, 250, 315, 355, 400	40
ПН2-600	600	315, 400, 500, 630	25
ПП17	1000	500, 630, 800, 1000	120
ПР-2	15	6, 10, 15	0,8/8
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	1,8/4,5
	100	60, 80, 100	6/11
	200	100, 125, 160, 200	6/11
	350	200, 235, 260, 300, 350	6/13
	600	350, 430, 500, 600	13/23
	1000	600, 700, 850, 1000	15/20

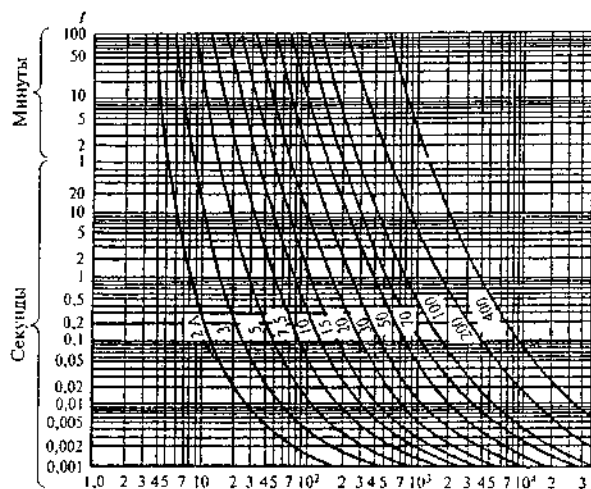
Примечание: для ПР-2 данные в числителе относятся к предохранителям 1 габарита (короткие предохранителя), в знаменателе к предохранителям II габарита (данные предохранителя).

Защитные характеристики предохранителей ПН 2



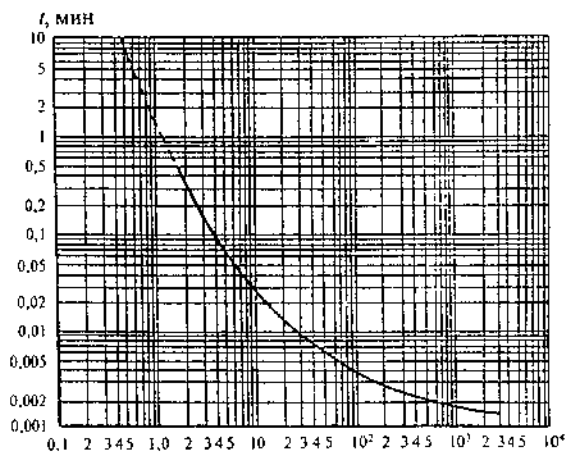
**Защитные характеристики предохранителей ПП17
в цепи переменного тока**





I, A

а)



$\frac{I}{I_{ном}}$

б)

Защитные характеристики предохранителей ПК:

а — время плавления вставки; б — время гашения дуги

Автоматические выключатели серий АЕ 20 и АП 50 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя, I _{т.р.} , А	Ток срабатывания эл. магнитного расцепителя, I _{э.р.} , А	Примечание
АЕ 2020	16	0,3;0,4;0,5;0,6;0,8;1,0;1,25; 1,6;2,0;2,5;3,15;4,0;5,0;6,3;8,0;10,0; 12,5;16,0	12I _{т.р.}	
АЕ 2030	25	0,6;0,8;1,0;1,25;1,6;2,0;2,5;3,15;4,0; 5,0;6,3;8,0;10;12,5;16,0;25,0	12I _{т.р.}	
АЕ 2040	63	10;12,5;16,0;20,0;25,0;31,5;40,0; 50,0;63,0	12I _{т.р.}	
АЕ 2050	100	10,0;12,5;16,0;20,0;25,0;31,5;40,0; 50,0;63,0;80,0;100,0	12I _{т.р.}	
АЕ 2060	160	16,0;20,0;25,0;31,5;40,0;50,0;63,0; 80,0;100,0;125,0;160,0	12I _{т.р.}	
АП 50	50	1,6;2,5;4,0;6,3; 10,0;16,0;25,0;40,0;50,0	3,5I _{т.р.} 11I _{т.р.}	

Автоматические выключатели серий А 3100 и АВМ

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя, I _{т.р.} , А	Ток срабатывания электромагнитного расцепителя, I _{э.р.} , А
A3/63	50	15,20,25,30,40,50	Нет
A3/10	100	15,20,25,30,40,50,60,80,100	13I _{н т.р.}
A3/20	100	15,20,25,30,40,50,60,80,100	500,700,950
A3/30	200	120,150,200	8I _{н т.р.}
A3/40	600	250,300,400,500,600	8I _{н т.р.}
ABM-4	400	нет	120,150,200,250,300,400
ABM-10	1000	нет	500,600,800,1000
ABM-15	1500	нет	1000,1200,1500
ABM-20	2000	нет	1000,1200,1500,2000

Автоматические выключатели серии А 3700 с электромагнитным и тепловым расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя, I _{т.р.} , А	Ток срабатывания электромагнитного расцепителя, I _{э.р.} , А
A3716Ф	160	16,20,25,32,40,50,63,80,100,125,160	630,1600
A3726Ф	250	160,200,250	2500
A3736Ф	630	250,320,400,500,630	10I _{н т.р.}

**Автоматические выключатели серии ВА
с электромагнитным и тепловым расцепителем**

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя, I _{т.р.} , А	Ток срабатывания электромагнитного расцепителя I _{э.р.} , А	
			у выключателей с тепловым расцепителем	у выключателей без теплового расцепителя
ВА 51-25	25	6,3;8,10,12,5;16,20,25	7;10 I _{н.т.р.}	
ВА 51-31	100	16,20,25,31,5;40,50,63,80,100	3; 7; 10 I _{н.т.р.}	
ВА 51-33 52-33	160	80,100,125,160	10 I _{н.т.р.}	
ВА 51-37 52-53	250	10,125,160,200,250	12 I _{н.т.р.}	10 I _{н.т.р.}
ВА 51-37 52-37	400	250,320,400	10 I _{н.т.р.}	1600,2000,2500, 3200,4000
ВА 51-39	630	400,500,630	10 I _{н.т.р.}	2500,3200,4000, 5000,6300
ВА 52-39	630	250,320,400,500,630	10 I _{н.т.р.}	10 I _{н.т.р.}

**Значения номинальных токов предохранителей,
автоматических выключателей, защиты трансформаторов
и линий 0,4кВ в КТП 25-250/10/0,4-90 У1 Минского
электротехнического завода**

Мощность, кВА			Воздушные линии 0,4кВ								
	10кВ		0,4 кВ	номер линии	защита от между- фазных к.з.			защита от одно- фазных к.з.			номинал. ток плав- кой вставки улич. освещения
	Нмин. ток, А	тип предохра- нителя	Нмин. ток, А		тип автомата	номинал. ток, А	уст. тепलो- вого расце- пления	тип реле	Нмин. ток, А	уставка, А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	1,44	ПКТ 101-10 5-12,5	36,1	1	АЕ- 2046	31,5	28-36	РЭ 571	25	18-50	16
				2	АЕ- 2046	31,5	28-36		25	18-50	16
40	2,31	ПКТ 101-10 8-12,5	57,7	1	АЕ- 2046	31,5	28-36		25	18-50	16
				2	АЕ- 2046	63	57-63		63	44- 126	16
63	3,64	ПКТ 101-10 10- 12,5	91	1	А 3716Ф	40	46		40	28-80	16
				2	А 3716Ф	63	73		63	44- 126	16
				3	А 3716Ф	40	46		40	28-80	16
100	5,77	ПКТ 101-10 16- 12,5	144,3	1	А 3716Ф	40	46		40	28-80	16
				2	А 3716Ф	100	115		100	70- 200	16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				3	A 3716φ	80	92		100	70- 200	16
160	9,25	ПКТ 101-10 120- 12,5	231	1	A 3716φ	80	92		100	70- 200	16
				2	A 3716φ	160	184		160	112- 320	16
				3	A 3716φ	100	115		100	70- 200	16
250	14,45	ПКТ 102-10 31,5- 31,5	361	1	A 3716φ	80	92		100	70- 200	16
				2	A 3716φ	160	184		160	112- 320	16
				3	A 3761φ	100	115		100	70- 200	16
				4	A 3716φ	250	—		—	—	16

Токи однофазного к.з. в зависимости от мощности трансформатора, протяженности и сечения алюминиевых проводов ВЛ 0,4кВ

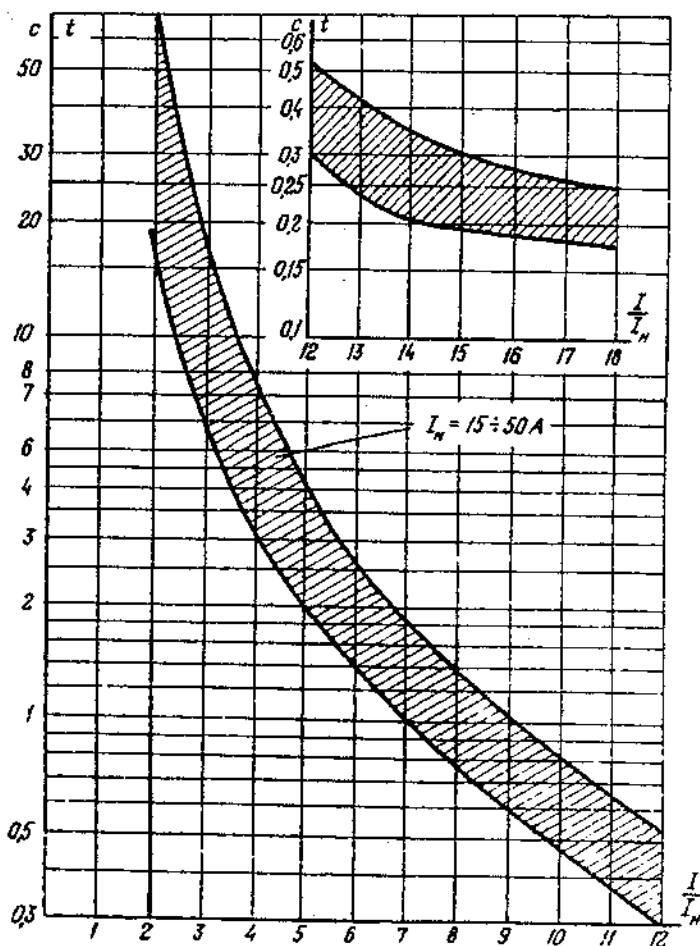
Мощность тр-ра, кВА	Сечение фазного и нулевого проводов ВЛ, мм ²	Удельное сопротивление петли, Ом/км	Токи однофазных к.з. в зависимости от протяженности ВЛ							
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25	3x25+1x16	4,04	222,8	118,8	83,9	64,9	52,9	44,6	38,6	32,1
	3x25+1x25	3,21	222,8	129,8	95,4	75,4	62,3	53,1	46,3	38,8
	3x35+1x25	2,79	222,8	136,3	102,5	82,2	68,6	58,8	51,5	43,4
	3x35+1x35	2,57	222,8	139,9	106,7	86,2	72,3	62,3	54,7	46,0
	3x50+1x25	2,46	222,8	141,8	108,9	88,4	74,4	64,2	56,5	47,8
	3x50+1x35	2,05	222,8	149,3	118,0	97,6	83,2	72,5	64,2	54,8
	3x50+1x50	1,73	222,8	155,8	126,3	106,2	91,6	80,6	71,9	61,9
	3x70+1x50	1,53	222,8	160,1	132,1	112,4	97,8	86,6	77,7	67,3
	3x25+1x16	4,04	355,4	149,2	98,0	73,0	58,2	48,3	41,3	34,0
40	3x25+1x25	3,21	355,4	167,1	114,1	86,6	69,8	58,5	50,3	41,6
	3x35+1x25	2,79	355,4	178,0	124,5	95,7	77,7	65,4	56,5	46,9
	3x35+1x35	2,57	355,4	184,2	130,6	101,1	82,6	69,8	60,4	50,3
	3x50+1x25	2,46	355,4	187,5	134,0	104,2	85,3	72,2	62,6	52,1
	3x50+1x35	2,05	355,4	200,9	148,1	117,2	97,1	82,8	72,2	60,5
	3x50+1x50	1,73	355,4	212,7	161,3	129,3	108,8	93,5	82,0	69,3
	3x70+1x50	1,53	355,4	220,8	170,9	139,3	117,6	101,8	88,9	76,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
63	3x25+1x16	4,04	562,0	176,6	109,2	79,0	61,9	50,9	43,2	35,2
	3x25+1x25	3,21	562,0	202,3	129,5	95,2	75,3	62,3	53,1	43,5
	3x35+1x25	2,79	562,0	218,3	142,9	106,2	84,5	70,2	60,0	50,4
	3x35+1x35	2,57	562,0	227,8	151,2	181,1	90,3	75,2	64,4	53,0
	3x50+1x25	2,46	562,0	232,9	155,7	116,9	93,6	78,0	66,9	55,1
	3x50+1x35	2,05	562,0	253,8	175,0	133,5	107,9	90,6	78,0	64,6
	3x50+1x50	1,73	562,0	273,0	193,8	150,2	122,6	103,6	89,7	74,6
	3x70+1x50	1,53	562,0	286,6	207,7	163,1	134,0	113,8	98,9	82,6
100	3x25+1x16	4,04	888,5	198,6	116,9	83,3	64,5	52,6	44,4	36,0
	3x25+1x25	3,21	888,5	232,9	141,4	101,5	79,2	64,9	55,0	44,8
	3x35+1x25	2,79	888,5	254,4	157,6	114,1	89,5	73,6	62,5	50,9
	3x35+1x35	2,57	888,5	267,4	167,3	122,1	96,0	79,1	66,3	54,9
	3x50+1x25	2,46	888,5	274,3	173,2	126,5	99,6	82,2	67,9	57,2
	3x50+1x35	2,05	888,5	303,9	197,4	146,2	116,1	96,2	82,2	67,4
	3x50+1x50	1,73	888,5	331,9	221,7	166,4	133,2	111,0	95,2	78,4
	3x70+1x50	1,53	888,5	352,1	240,1	182,2	146,8	122,9	105,7	87,3
160	3x25+1x16	4,04	1426	217,9	123,7	86,3	66,3	53,8	45,3	36,6
	3x25+1x25	3,21	1426	258,4	150,4	106,1	81,9	66,7	56,3	45,6
	3x35+1x25	2,79	1426	285,2	168,9	119,9	93,0	75,9	64,2	52,1

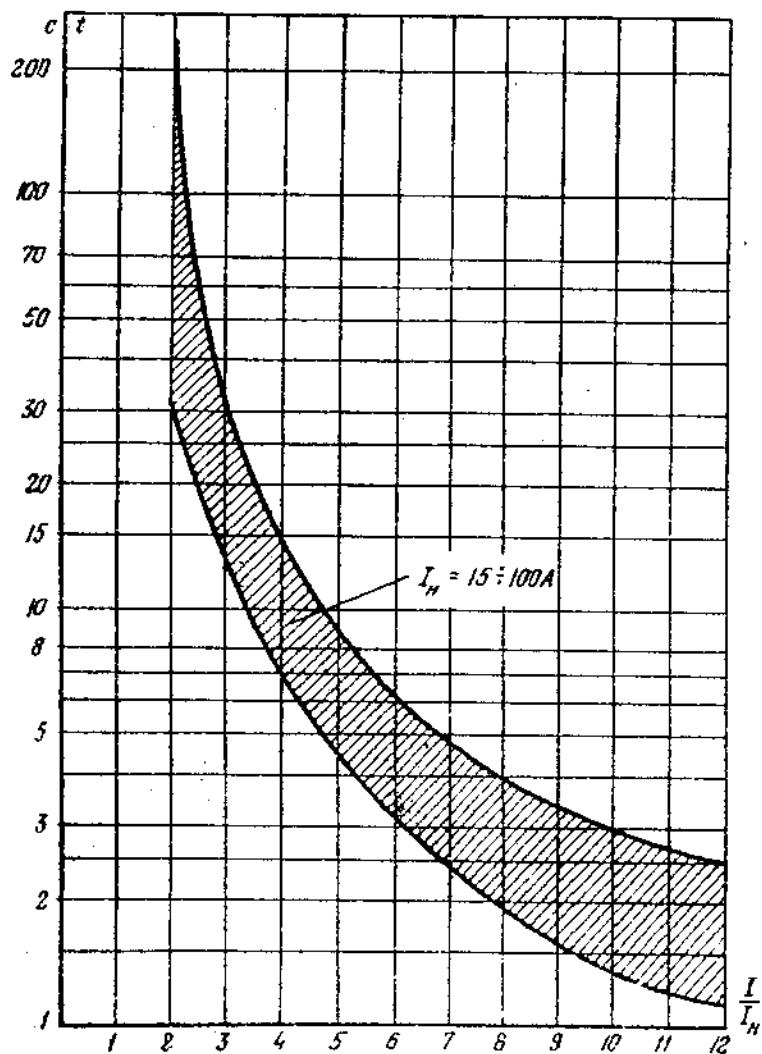
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
160	3x35+1x35	2,57	1426	301,6	180,5	128,8	100,1	81,9	69,2	56,2
	3x50+1x25	2,46	1426	310,5	186,9	133,7	104,0	85,2	72,1	58,6
	3x50+1x35	2,05	1426	348,9	215,5	155,9	122,1	100,3	85,2	69,4
	3x50+1x50	1,73	1426	386,3	244,7	179,1	141,2	116,5	99,2	81,1
	3x70+1x50	1,53	1426	414,0	267,4	197,4	156,5	129,6	110,6	90,7
250	3x25+1x16	4,04	2222	230,3	127,6	88,2	67,4	54,6	45,8	36,9
	3x25+1x25	3,21	2222	276,3	167,6	109,0	83,6	67,9	57,1	46,1
	3x35+1x25	2,79	2222	307,2	176,3	123,7	95,2	77,4	65,2	52,7
	3x35+1x35	2,57	2222	326,3	189,0	133,1	102,7	83,6	70,5	57,0
	3x50+1x25	2,46	222	336,7	196,1	138,3	106,8	87,0	73,4	59,5
	3x50+1x35	2,05	2222	382,4	227,8	162,2	125,9	102,9	87,0	70,7
	3x50+1x50	1,73	2222	427,0	260,7	187,5	146,4	120,1	101,8	82,8
	3x70+1x50	1,53	2222	462,0	286,6	207,7	162,9	134,0	113,8	92,8

Примечание: Расчеты токов однофазного к.з. выполнены с учетом следующего:

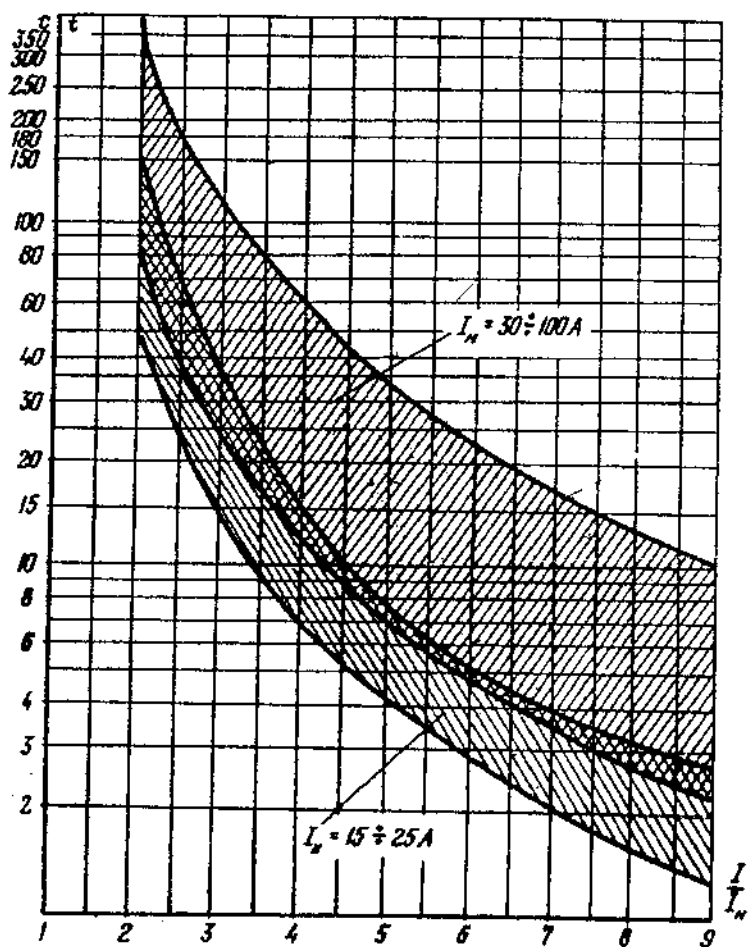
1. Место к.з. на вводе в здание, жилой дом;
2. Протяженность ВЛ – расстояние от трансформатора до опоры, к которой подключается ввод.
3. Ввод выполнен проводом 2Ах16, длина – 20 м, сопротивление ввода при однофазном к.з. – 0,09 Ом.
4. Удельное сопротивление петли «фаза-нуль» принято при расстоянии между проводами на ВЛ 1 м и 0,4 м на вводе.



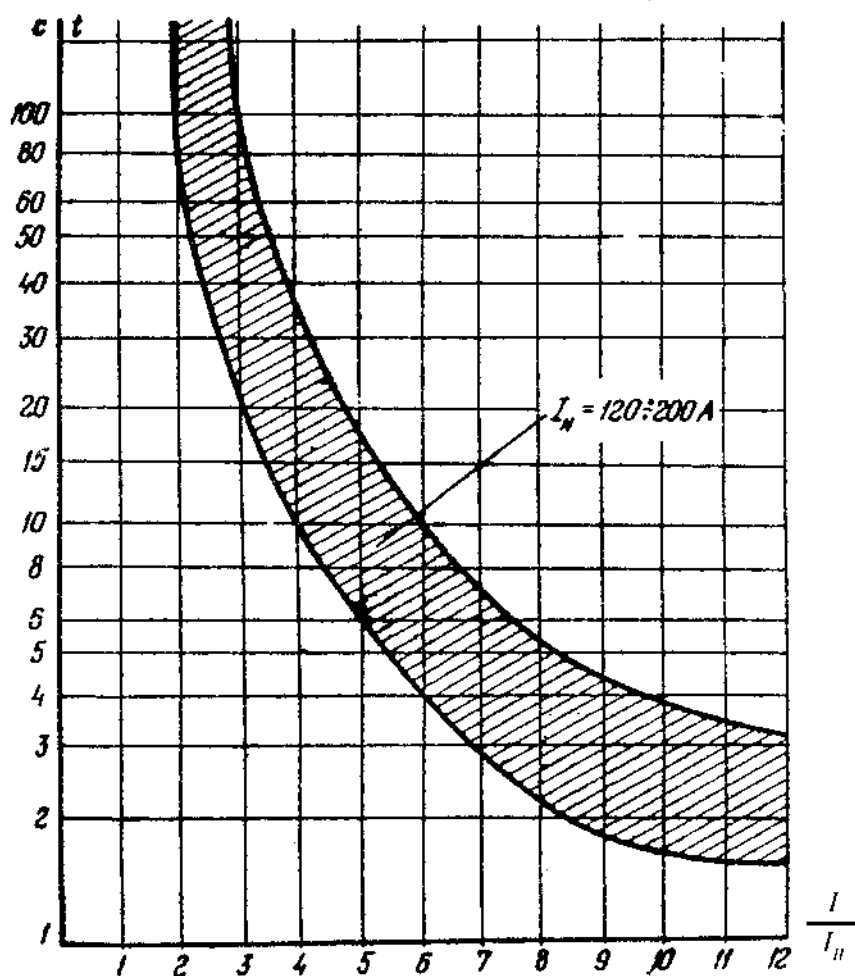
**Время-токовая характеристика срабатывания
выключателей А 3160**



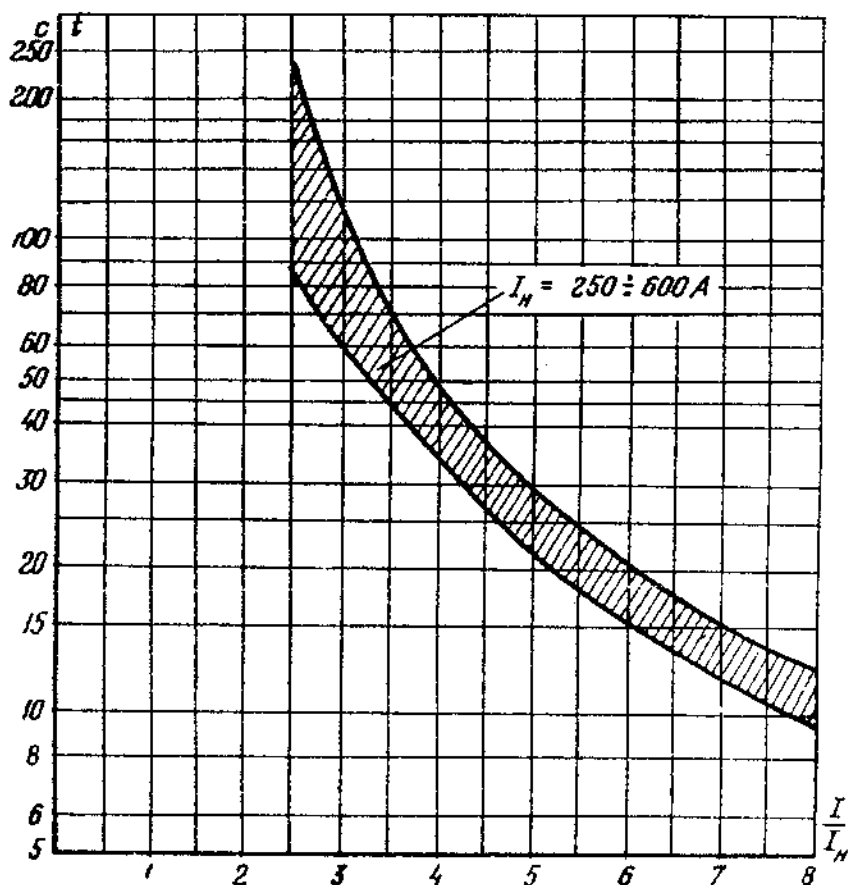
Время-токовая характеристика срабатывания
выключателей АЗ110



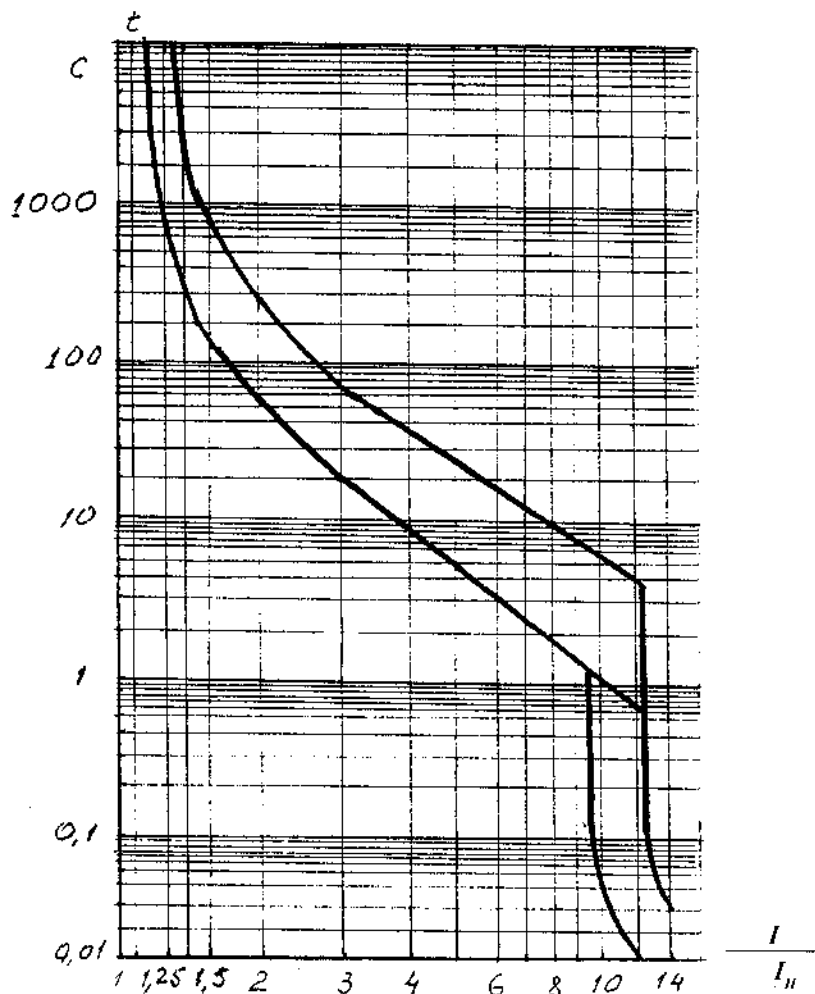
Время-токовая характеристика срабатывания
выключателя AZ 120



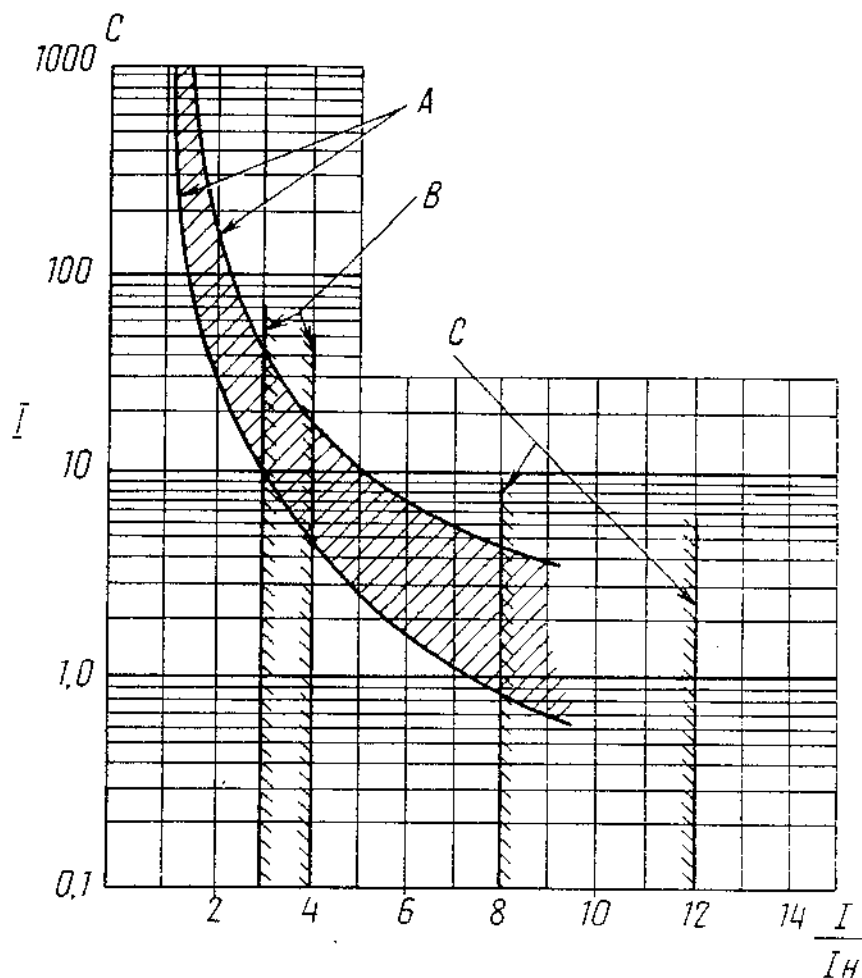
Время-токовая характеристика срабатывания
выключателей А3130



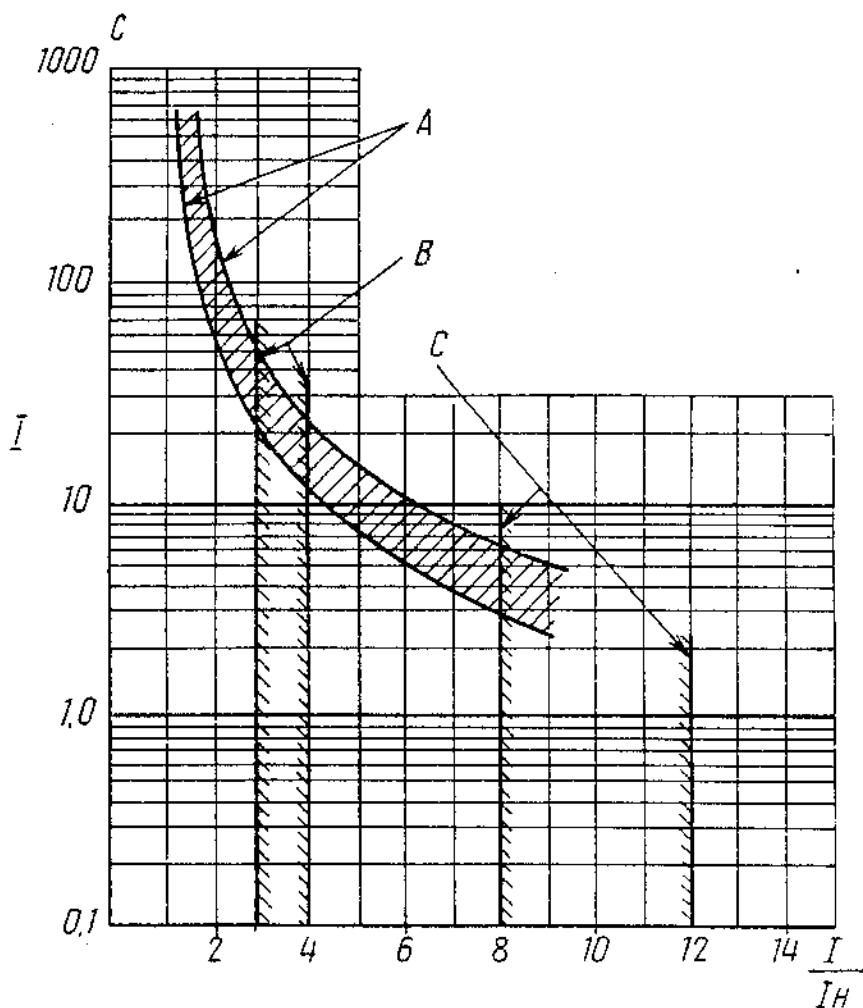
Время-токовая характеристика срабатывания
выключателей АЗ140



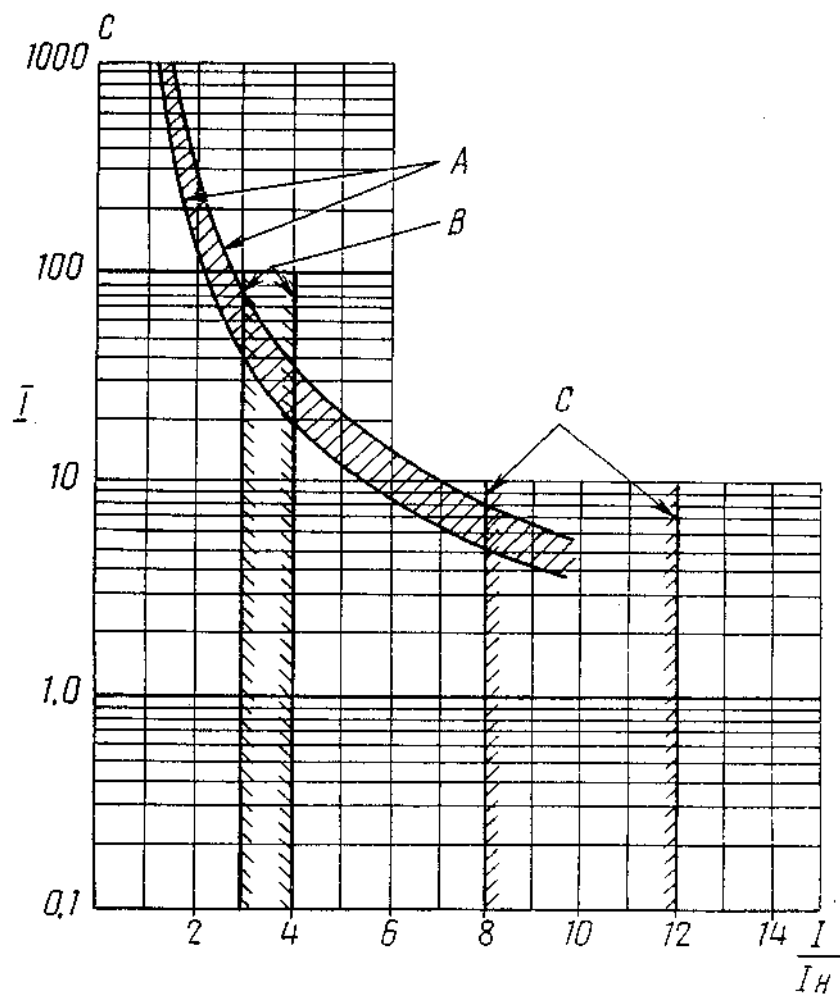
**Время-токовая характеристика выключателей
серии АЕ 20 с электромагнитными и тепловыми
расцепителями без температурной компенсации
при температуре плюс 20°C**



**Время-токовая характеристика выключателей
серии АП 50 с тепловыми и электромагнитными расцепителя-
ми на ток 1,6; 2,5; 4, 6, 3 А**



**Время-токовая характеристика выключателей
серии АП 50 с тепловыми и электромагнитными
расцепителями на ток 10; 16; 25; 40; 50 А**



**Время-токовая характеристика выключателей
серии АП 50 с тепловыми и электромагнитными
расцепителями на ток 63 А**

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
1. Общие сведения о коротких замыканиях	5
2. Расчет тока к.з. в электрических сетях 0,4 кВ	6
3. Расчетные формулы для определения токов к.з. в сетях 0,4 кВ	10
4. Распределение токов при несимметричных к.з. за трансфор- матором, имеющим схему соединения обмоток "звезда- звезда" с заземленным нулем	16
5. Расчет напряжений при коротких замыканиях	18
6. Общие требования к аппаратам защиты электрических сетей 0,4 кВ	19
7. Защита электрических сетей 0,4 кВ предохранителями	20
8. Защита трансформаторов 6-10/0,4 кВ предохранителями	29
9. Защита электрических сетей 0,4 кВ автоматическими выключателями	36
10. Защита трансформаторов 6-10/0,4 кВ на стороне 0,4 кВ автоматическими выключателями	42
11. Токовая защита от однофазных коротких замыканий на землю	44
12. Измерение тока к.з. цепи "фаза-нуль"	46
13. Краткое техническое описание автоматических выключателей, применяемых для защиты присоединений 0,4 кВ в ТП, КТП, МТП	48
14. Техническое обслуживание автоматических выключателей серий АЕ 20, А 3100	63
Список используемой литературы, нормативно-технической документации	77
<i>Приложение 1. Провода алюминиевые и сталеалюминиевые</i>	<i>78</i>
<i>Приложение 2. Индуктивное сопротивление воздушных линий с алюминиевыми проводами (А) в зависимости от Дср.</i>	<i>79</i>
<i>Приложение 3. Индуктивное сопротивление воздушных линий со сталеалюминиевыми проводами (АС) в зависимости от Дср. ..</i>	<i>80</i>
<i>Приложение 4. Удельное сопротивление кабелей с алюминиевыми жилами</i>	<i>81</i>
<i>Приложение 5. Полное сопротивление цепи «фаза-нуль» четырёхпроводной воздушной линии 0,4 кВ с алюминиевыми проводами</i>	<i>82</i>

Приложение 6. Полное сопротивление цепи «фаза-нуль» алюминиевого четырехпроводного кабеля без металлической оболочки и четырехпроводной линии 0,4 кВ с изолированными проводами	83
Приложение 7. Активные и индуктивные сопротивления прямоугольных алюминиевых шин.	84
Приложение 8. Среднее сопротивление автоматических выключателей и рубильников.	85
Приложение 9. Сопротивление первичных обмоток трансформаторов тока типа ТКФ.	86
Приложение 10. Сопротивления трансформаторов 10/0,4 кВ, приведенные к напряжению 0,4 кВ.	87
Приложение 11. Рекомендуемые значения номинальных токов плавких вставок предохранителей для защиты трансформаторов 10/0,4 кВ.	88
Приложение 12. Технические параметры предохранителей 0,4 кВ.	89
Приложение 13. Защитные характеристики предохранителей ПН 2	90
Приложение 14. Защитные характеристики предохранителей ПП17 в цепи переменного тока	91
Приложение 15. Защитные характеристики предохранителей ПК.	92
Приложение 16. Автоматические выключатели серий АЕ 20 и АП 50 с комбинированным расцепителем	93
Приложение 17. Автоматические выключатели серий А 3100 и АВМ	94
Приложение 18. Автоматические выключатели серии А 3700 с электромагнитным и тепловым расцепителем	94
Приложение 19. Автоматические выключатели серии ВА с электромагнитным и тепловым расцепителем	95
Приложение 20. Значения номинальных токов предохранителей, автоматических выключателей, защиты трансформаторов и линий 0,4 кВ в КТП 25-250/10/0,4-90 У1 Минского электрохимического завода	96
Приложение 21. Токи однофазного к.з. в зависимости от мощности трансформатора, протяженности и сечения алюминиевых проводов ВЛ 0,4кВ	98
Приложения 21–26. Защитные характеристики автоматических выключателей А 3160, А 3110, А 3120, А 3130, А 3140	101-105
Приложение 27. Защитная характеристика автоматических выключателей АЕ 20	106
Приложения 28-30. Защитные характеристики автоматических плавких вставок АП 50	107-109

Сдано в набор 14.01.2003 г. Подписано в печать 7.03.2003 г. Формат 60x84¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура жр./р. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,78
Тираж 230. Заказ 348

УПКП «Могилевская областная укрупненная
типография имени С.Соболя»
212030, ул. Первомайская, 70.
ЛП № 96 от 30.12.97 г.