



БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



М. Л. ГОЛУБЕВ

ЗАЩИТА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Основана в 1959 г.

Выпуск 548

М. Л. ГОЛУБЕВ

ЗАЩИТА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

БЭС № 116



МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ 1982

ББК 31.279

Г62

УДК 621.316.9:621.3.014.7

Редакционная коллегия:

В. Н. Андриевский, С. А. Бажанов, Ю. В. Зайцев, Д. Т. Комаров, В. П. Ларионов, Э. С. Мусаэлян, С. П. Розанов, В. А. Семенов, А. Д. Смирнов, А. Н. Трифонов, П. И. Устинов, А. А. Филатов

Голубев М. Л.

Г62 Защита вторичных цепей от коротких замыканий. — М.: Энергоиздат, 1982. — 80 с., ил. — (Б-ка электромонтера; Вып. 548).

20 к.

Рассмотрены методы расчета токов короткого замыкания во вторичных цепях постоянного и переменного тока электростанций и подстанций (аккумуляторные батареи, трансформаторы напряжения, стабилизаторы напряжения и выпрямители для питания электромагнитных приводов выключателей). Дан метод выбора аппаратуры защиты, расчет уставок, согласование характеристик и проверка селективности. Приведены примеры расчета типовых схем.

Для персонала местных служб релейной защиты и автоматики электростанций и сетевых предприятий.

Г 2302040000-596
051(01)-882 104-83

ББК 31.279
6П2.13

МИХАИЛ ЛЬВОВИЧ ГОЛУБЕВ

Защита вторичных цепей от коротких замыканий

Редактор Э. И. Басс

Редактор издательства И. А. Сморчкова

Технический редактор В. В. Хапаева

Корректор М. Г. Гулина

ИБ № 2850

Сдано в набор 23.07.82. Подписано в печать 02.11.82. Т-05725
Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 2 Гарнитура
литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 4,20 Усл. кр.-отт. 4,52
Уч.-изд. л. 4,37 Тираж 30 000 экз. Заказ 1744 Цена 20 к.

Энергоиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной
торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

© Энергоиздат, 1982

ПРЕДИСЛОВИЕ

В электроэнергетических установках принято различать первичные и вторичные схемы и аппараты. К первичным относятся цепи и электрооборудование, непосредственно участвующие в процессе выработки, передачи и распределения электроэнергии (генераторы, трансформаторы, шины, реакторы, выключатели, разъединители, линии электропередачи всех напряжений).

Ко вторичным относятся все цепи и аппараты ручного и автоматического управления всем процессом выработки, передачи и распределения электроэнергии, цепи защиты и сигнализации о нарушениях нормального режима и восстановлении его после нарушений. Такими цепями и аппаратами являются регуляторы напряжения и мощности, защита от короткого замыкания (КЗ), сигнализация о нарушениях нормального режима, цепи и аппараты учета и измерений, включения и отключения выключателей, отделителей, короткозамыкателей, разъединителей и т. д.

В книге рассмотрены вопросы расчета токов КЗ в цепях аккумуляторных батарей, а также защиты этих цепей предохранителями и автоматическими выключателями. Даны расчеты цепей на переменном токе и вторичных цепей трансформаторов напряжения.

Все замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоиздат.

Автор

1. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЦЕПЯХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

На современных подстанциях в качестве источника оперативного тока обычно применяются свинцовые аккумуляторные батареи из аккумуляторов типа СК. В обозначении типа аккумулятора С означает стационарный, К — для кратковременного разряда. Кроме букв СК в обозначение аккумуляторной батареи входит типовой номер N , который показывает, во сколько раз основные параметры одного аккумулятора больше параметров аккумулятора СК-1. Например, ток получасового разряда аккумулятора СК-1 равен 25 А, а аккумулятора СК-10 будет $25 \cdot 10 = 250$ А. Ток пятисекундного разряда СК-1 равен 46 А, а СК-10 будет $46 \cdot 10 = 460$ А.

Аккумулятор СК-1 состоит из одной положительной и двух боковых отрицательных пластин. Для получения аккумуляторов с большим N увеличивается количество пластин аккумулятора СК-1 или же применяются пластины больших размеров.

Всего применяется три стандартных размера пластин, из которых набирается нужное значение N . Каждый аккумулятор помещается в свой сосуд (стеклянный для небольших N или деревянный с внутренней свинцовой облицовкой). Кроме N , каждая аккумуляторная батарея характеризуется количеством последовательно включенных аккумуляторов n . Количество аккумуляторов n выбирается таким, чтобы обеспечить необходимое напряжение на нагрузке. Как правило, на современных подстанциях и электростанциях номинальное напряжение оперативного постоянного тока принимается 220 В. Более подробные сведения об аккумуляторах можно найти в [1, 2].

На современных подстанциях принята схема включения аккумуляторных батарей по рис. 1 [3]. Батарея состоит из n элементов ($n = 120, 128, 140$) с отпайками от 100-го и 108-го элементов. В нормальном режиме от 108

элементов питаются устройства релейной защиты, автоматики и сигнализации РЗА; аварийное освещение АО и электромагниты включения ЭВ выключателей с номинальным током не более 185 А. Электромагниты включения выключателей с номинальным током более 185 А питаются от полного числа элементов.

Батарея работает в режиме постоянного подзаряда от подзарядного агрегата ПВ (обычно от выпрямителя с автоматическим управлением), без элементного коммутатора. Резистор R имитирует постоянную нагрузку концевых элементов от 108-го до n -го и обеспечивает одинаковый режим для всех элементов батареи. Подзарядный агрегат питает всю нагрузку нормального режима и подзаряжает батарею, компенсируя ее саморазряд.

Между шинами (+) и (—108) в нормальном режиме поддерживается напряжение 232—243 В по $2,2 \pm 0,05$ В на элемент с точностью $\pm 2\%$.*

Для релейной аппаратуры, нормально находящейся под напряжением, длительно допустимое напряжение составляет 110 % номинального (при номинальном напряжении 220 В допустимое составляет 242 В). Для электромагнитов включения выключателей напряжение 110 % номинального допустимо; однако кабели к электромагнитам рассчитываются таким образом, чтобы в любом режиме напряжение на электромагните в момент включения не превышало 105 % номинального.

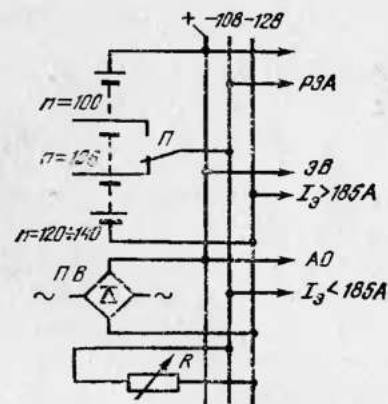


Рис. 1. Типовая схема включения аккумуляторных батарей на подстанциях.

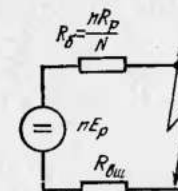


Рис. 2. Расчетная схема аккумуляторной батареи.

* По [2] напряжение должно быть $2,2 \pm 0,05$ В на элемент, по [3] — 2,15 В на элемент.

Один раз в 3 мес батарея должна подзаряжаться при напряжении 2,3—2,35 В на элемент. Напряжение на 108 элементах в этом режиме будет 249—255 В, поэтому переключателем Π шины релейной защиты переводятся на отпайку от 100-го элемента и напряжение на них сохраняется в пределах допустимого — 230—235 В. Заряд продолжается до достижения электролитом плотности 1,2—1,21 г/см³, но не менее 6 ч.

Для определения N и n батареи производят специальный расчет с учетом следующих условий.

При включении наиболее мощного и наиболее удаленного от батареи выключателя напряжение на его электромагните включения должно быть не менее минимального напряжения надежной работы, обычно 80—85 % номинального. Условия расчетного режима: подзаряд отключен, батарея разряжается током аварийной нагрузки и через 0,5 ч производится включение выключателя. Аварийная нагрузка определяется в каждом частном случае по местным условиям; в среднем для большинства подстанций она составляет примерно 5 N А. В этом же режиме в момент включения устройства релейной защиты и автоматики, не должно быть ниже 80 % номинального.

В режиме подзаряда батареи напряжение на ближайшем к батарее электромагните включения выключателя при его включении должно быть не более 105 % номинального, чтобы избежать увеличенных механических усилий.

По этим условиям рассчитывается несколько вариантов с разными N и n и из них выбирается наиболее экономичный вариант, в котором минимальны сечение кабелей, количество свинца в батарее и стоимость всей сети постоянного тока и батареи с учетом стоимости помещения батареи, подзарядного агрегата и т. п.

Для аккумуляторных батарей электростанций характерна очень большая аварийная и нормальная нагрузка, состоящая главным образом из двигателей масляных насосов уплотнения подшипников, систем смазки и регулирования и других двигателей постоянного тока, для которых снижение напряжения недопустимо, а пусковые токи велики. Поэтому на электростанциях чаще применяются батареи с автоматическим элементным коммутатором и автоматическим подзарядом.

Для выбора параметров защиты необходим расчет токов КЗ I_K . При расчете следует учитывать различные режимы сети. Для определения параметров срабатывания рассчитываются максимальные токи в защите, а при определении коэффициентов чувствительности — минимальные, например: для кольцевой сети максимальные токи в защите элементов кольца соответствуют режиму разомкнутого кольца, а минимальные — замкнутого.

Для расчета I_K в цепях, питающихся от батареи, на рис. 2 представлена элементарная расчетная схема. Метод расчета разработан в институте «Теплоэлектропроект».

Расчетная электродвижущая сила (ЭДС) каждого элемента обозначена E_p ; полная ЭДС батареи nE_p ; расчетное сопротивление одного аккумулятора СК-1 в режиме КЗ R_p ; сопротивление всей батареи $R_b = nR_p/N$, сопротивление внешней цепи от батареи до точек КЗ $R_{вн}$.

Ток КЗ определяется по формуле

$$I_K = \frac{nE_p}{R_{вн} + \frac{nR_p}{N}}. \quad (1)$$

Значения E_p и R_p зависят от I_K , режима работы батареи перед КЗ и температуры электролита. Теоретическому определению эти величины не поддаются, поэтому были проведены специальные испытания аккумулятора СК-1 в режиме разряда большими токами, при которых определялось напряжение и внутреннее сопротивление элемента.

Испытания проводились при температуре электролита +25 °С для полностью заряженного аккумулятора (эти условия соответствуют режимам работы батареи при постоянном подзаряде). По результатам испытаний все батареи в режиме разряда большими токами можно разделить на две группы по току разряда: от 25 N до 150 N и от 150 N до 350 N . Ток разряда выражен через типовой номер батареи N в амперах.

В пределах каждой группы значения E_p и R_p можно принять постоянными:

при токах (25÷150) N

$$E_p = 1,93 \text{ В}; R_p = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (2)$$

а при токах $(150 \div 350) N$

$$E_p = 1,73 \text{ В}; R_p = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.} \quad (3)$$

Для определения группы вводится понятие граничного внешнего сопротивления $R_{\text{вн.г}}$ Ом, которое соответствует току $150 N$ и определяется по уравнению

$$R_{\text{вн.г}} = \frac{7,5n}{N} 10^{-3}. \quad (4)$$

Если вычисленное для каждого случая $R_{\text{вн}} > R_{\text{вн.г}}$, то ток КЗ находится в пределах $(25 \div 150) N$ и расчет следует вести по данным (2). Если $R_{\text{вн}} < R_{\text{вн.г}}$, то ток находится в пределах $(150 \div 350) N$ и расчет ведется по данным (3).

Важно отметить, что в (2) и (3) E_p и R_p являются не физическими величинами, которые можно измерить, а расчетными, полученными математической обработкой результатов испытаний (например, R_p получено как отношение уменьшения напряжения к увеличению тока).

По предлагаемому методу расчет производится в следующем порядке:

по известным значениям N и n определяется $R_{\text{вн.г}}$ по (4);

с учетом длины, сечения и материала проводов от батареи до точки КЗ определяется $R_{\text{вн}}$. Принимается переходное сопротивление контактов на щите постоянного тока $R_{\text{п.щ}} = 0,015 \text{ Ом}$, сопротивление контактов каждой сборки $R_{\text{п.с}} = 0,02 \text{ Ом}$;

в результате сравнения $R_{\text{вн}}$ и $R_{\text{вн.г}}$ определяются расчетные данные (2) или (3);

в (1) подставляются значения E_p и R_p из (2) или (3) и определяется ток КЗ.

Необходимо учитывать, что расчет приближенный. В нем не учитывается разница между номинальным и действительным сечениями кабелей, условно учитывается сопротивление контактов и другой аппаратуры на щите постоянного тока и сборках, не учитывается сопротивление расцепителей автоматических выключателей и т. п. Поэтому при наладке необходимо измерить действительные сопротивления $R_{\text{вн}}$, сравнить с расчетными и при необходимости уточнить расчеты. Измерение действительного значения $R_{\text{вн}}$ производится также при выборе номинальных токов вставок предохранителей, тока срабатывания расцепителей выключателей и т. п.

Для определения E_p и R_p при малых токах КЗ ($I_k < 25 N$) испытания проводились при температуре электролита $\pm 10^\circ \text{C}$ в режиме, при котором батарея разряжалась током $5 N$ и в конце получасового разряда происходило КЗ. При $I_k \leq 25 N$ расчетные значения

$$E_p = 1,93 \text{ В}; R_p = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.} \quad (5)$$

Эти значения целесообразно использовать для расчетов величин в цепях релейной защиты и управления при $R_{\text{вн}} \gg R_{\text{вн.г}}$.

Пример 1. Рассчитать токи КЗ в кольце питания электромагнитов включения масляных выключателей по схеме, приведенной на рис. 3. Исходные данные: батарея СК-8, $n=128$, от сборок А, Б, В питаются электромагниты включения 7 выключателей МКП-110М с приводом ШПЭ-33 (см. приложение 2). Сопротивлением кабелей от сборок до приводов можно пренебречь.

Осшиновка от батарей Б до выводной доски ВД, от ВД до щита постоянного тока Щ и осшиновка самого щита выполнены медными шинами сечением $20 \times 3 \text{ мм}^2$. Общая длина всей осшиновки 50 м. От щита до сборок и между сборками проложен кабель АВРГ $2 \times 150 \text{ мм}^2$. Длины кабелей указаны на рис. 3 (для сокращения вычислений в примере допущен ряд условностей).

Решение. Расчет произведен для точек К1, К2 и К3. Для каждой из точек выполнен расчет для режима замкнутого и разомкнутого кольца. Результаты расчета приведены на рис. 4.

Определяется значение $R_{\text{вн.г}}$ по (4)

$$R_{\text{вн.г}} = \frac{7,5 \cdot 128 \cdot 10^{-3}}{8} = 0,12 \text{ Ом.}$$

а) Короткое замыкание в точке К1, кольцо замкнуто. Сопротивление осшиновки от батарей до точки К1

$$R_o = \frac{2\rho l}{S} = \frac{2 \cdot 0,0175 \cdot 50}{20 \cdot 3} = 0,0292 \text{ Ом,}$$

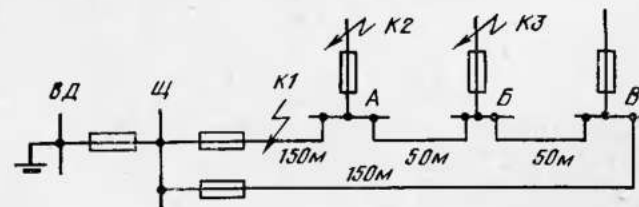


Рис. 3. Схемы к расчету токов КЗ в цепях электромагнитов включения.

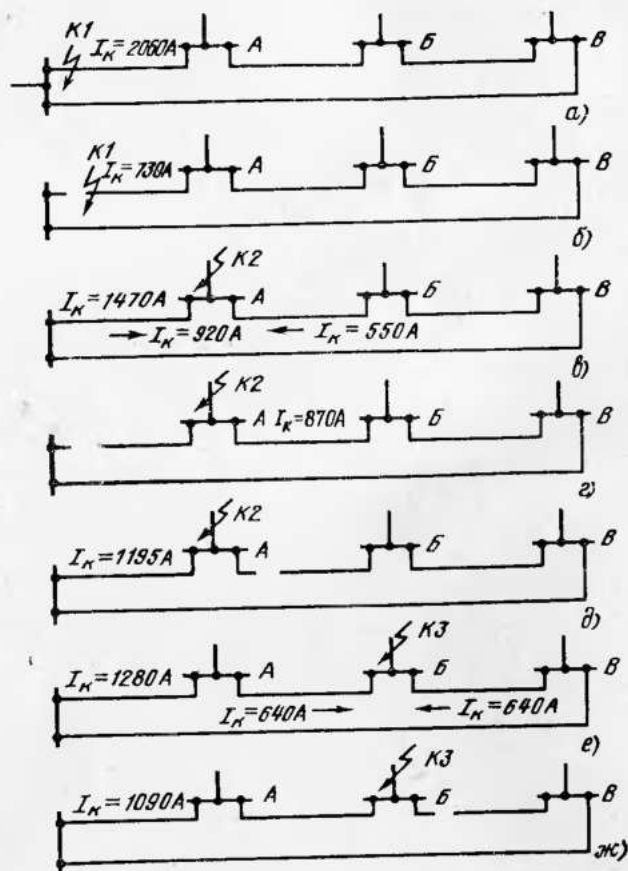


Рис. 4. Схемы к расчету токов КЗ в цепях питания электромагнитов включения.

где $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2$ — удельное сопротивление меди; l — длина ошиновки, м; S — сечение шин, мм^2 .

Полное внешнее сопротивление

$$R_{\text{вн}} = R'_0 = R_0 + R_{\text{п,щ}} = 0,0292 + 0,015 = 0,0442 \text{ Ом.}$$

Так как $R_{\text{вн}} < R_{\text{вн,г}}$, для расчета используются значения (3), тогда по (1)

$$I_K = \frac{128 \cdot 1,73}{0,0442 + \frac{128 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 2060 \text{ A.}$$

б) Короткое замыкание в точке K1, поврежденный кабель отключен от щита и к месту КЗ проходят токи от сборок В, Б, А.

Сопротивление кабеля

$$R_K = \frac{2\rho l}{S} = \frac{2 \cdot 0,028 \cdot 400}{150} = 0,15 \text{ Ом,}$$

где $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2$ — удельное сопротивление алюминиевого кабеля.

Полное внешнее сопротивление

$$R_{\text{вн}} = R'_0 + R_K + 3R_{\text{п,с}} = 0,0442 + 0,15 + 3 \cdot 0,02 = 0,254 \text{ Ом.}$$

Так как $R_{\text{вн}} > R_{\text{вн,г}}$, для расчета используются значения (2), тогда по (1)

$$I_K = \frac{128 \cdot 1,93}{0,254 + \frac{128 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 730 \text{ A.}$$

в) Короткое замыкание в точке K2, кольцо замкнуто. Сопротивление кабеля между щитом и сборкой А

$$R'_K = \frac{2 \cdot 0,028 \cdot 150}{150} = 0,056 \text{ Ом.}$$

Сопротивление кабеля между щитом и сборками В, Б и А

$$R''_K = \frac{2 \cdot 0,028 \cdot 250}{150} = 0,0935 \text{ Ом.}$$

Сопротивление всей цепи с учетом сопротивления контактов

$$R_{\text{ц}} = \frac{R'_K (R''_K + 3R_{\text{п,с}})}{R'_K + R''_K + 3R_{\text{п,с}}} = \frac{0,056 (0,0935 + 3 \cdot 0,02)}{0,056 + 0,0935 + 3 \cdot 0,02} = 0,0414 \text{ А.}$$

Полное внешнее сопротивление

$$R_{\text{вн}} = R'_0 + R_{\text{ц}} = 0,0442 + 0,0414 = 0,0856 \text{ Ом,}$$

следовательно, $R_{\text{вн}} < R_{\text{вн,г}}$, тогда

$$I_K = \frac{128 \cdot 1,73}{0,0856 + \frac{128 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 1470 \text{ A.}$$

Ток по кабелям, обратно пропорциональный сопротивлениям R'_K и R''_K , составляет 920 А по кабелю от щита до сборки А и 550 А по кабелям от щита через сборки В и Б до сборки А.

г) Короткое замыкание в точке K2, кабель от щита до сборки А отключен. Сопротивление кабеля

$$R_K = \frac{2 \cdot 0,028 \cdot 250}{150} = 0,0935 \text{ Ом.}$$

Полное внешнее сопротивление

$$R_{вш} = R'_0 + R_K + 3R_{п.с} = 0,0442 + 0,0935 + 0,03 = 0,197 \text{ Ом.}$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{128 \cdot 1,93}{0,197 + \frac{128 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 870 \text{ А.}$$

д) Короткое замыкание в точке К2, кабель между А и В отключен. Сопротивление кабеля $R_K = \frac{2 \cdot 0,028 \cdot 150}{150} = 0,056 \text{ Ом.}$

Полное внешнее сопротивление

$$R_{вш} = R'_0 + R_K + R_{п.с} = 0,0442 + 0,056 + 0,02 = 0,1202 \text{ Ом.}$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{128 \cdot 1,93}{0,1202 + \frac{128 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 1195 \text{ А.}$$

е) Короткое замыкание в точке К3, режим замкнутого кольца, ток к точке К3 проходит по двум параллельно включенным кабелям одинаковой длины 200 м. Сопротивление каждого кабеля $R'_K = \frac{2 \cdot 0,028 \cdot 200}{150} = 0,0745 \text{ Ом.}$

Сопротивление двух параллельно включенных кабелей и сборок

$$R_K'' = \frac{0,0745 + 0,02}{2} + 0,02 = 0,067 \text{ Ом.}$$

Полное внешнее сопротивление

$$R_{вш} = 0,0442 + 0,067 = 0,11 \text{ Ом.}$$

$$R_{вш} < R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{128 \cdot 1,73}{0,11 + \frac{128 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 1280 \text{ А.}$$

По каждому кабелю проходит ток 0,5 $I_K = 640 \text{ А.}$

ж) Короткое замыкание в точке К3, кабель между сборками В и В отключен. С учетом предыдущих результатов

$$R_{вш} = 0,0442 + 0,0745 + 0,02 = 0,138 \text{ Ом.}$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{128 \cdot 1,93}{0,138 + \frac{128 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 1090 \text{ А.}$$

Пример 2. Рассчитать I_K в цепях релейной защиты и управления по схеме, приведенной на рис. 5. Исходные данные: батарея СК-8, $n=108$, сопротивление ошиновки батареи (по примеру 1) $R'_0=0,0442 \text{ Ом}$; А, Б, В—ряды панелей релейной защиты, автоматики и управления, по которым проложены медные шинки $\pm$ ШУ сечением 6 мм². Панели соединены между собой и щитом постоянного тока кабелем с медными жилами сечением 6 мм², длина кабелей указана на рис. 5. От панелей до привода выключателя проложен медный кабель сечением 2,5 мм².

Результаты расчета приведены на рис. 6.

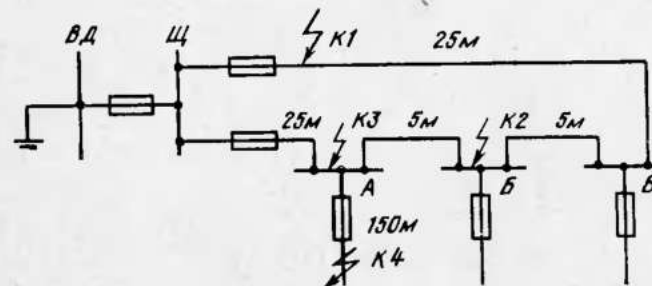


Рис. 5. Схемы к расчету токов КЗ в цепях релейной защиты.

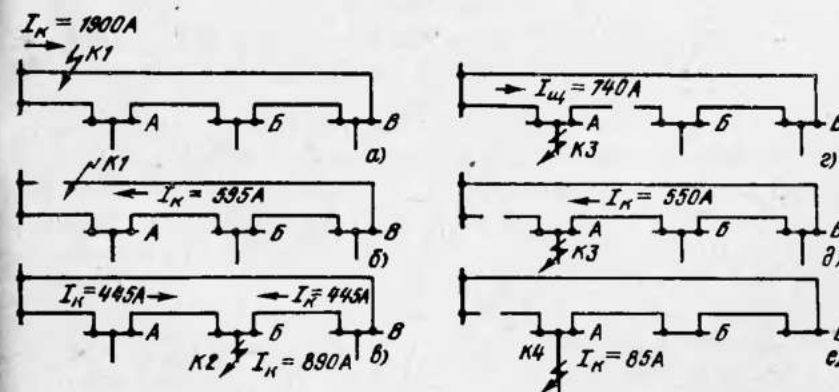


Рис. 6. Схемы к расчету токов КЗ в цепях защиты и автоматики.

Решение. Определяется $R_{вш,г}$ по (4)

$$R_{вш,г} = \frac{7,5 \cdot 108}{8} 10^{-3} = 0,101 \text{ Ом.}$$

а) Короткое замыкание в точке К1, кольцо замкнуто:

$$R_{вш} = 0,0442 \text{ Ом,}$$

$$R_{вш} < R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{108 \cdot 1,73}{0,0442 + \frac{108 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 1900 \text{ А.}$$

б) Короткое замыкание в точке К1, поврежденный кабель отсоединен от щита. Сопротивление кабеля

$$R_K = \frac{0,0175 (2 \cdot 25 + 2 \cdot 5)}{6} = 0,175 \text{ Ом.}$$

Полное внешнее сопротивление

$$R_{вш} = R'_0 + R_K + 3R_{п,с} = 0,0442 + 0,175 + 0,06 = 0,279 \text{ Ом,}$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{108 \cdot 1,93}{0,279 + \frac{108 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 595 \text{ А.}$$

в) Короткое замыкание в точке К2, кольцо замкнуто. Полное внешнее сопротивление

$$R_{вш} = R'_0 + R_K + 0,5R_{п,с} + R_{п,с} = 0,0442 + \left[\frac{0,0175(25+5)2}{2} + 0,02 \right] + 0,02 = 0,16 \text{ Ом,}$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{108 \cdot 1,93}{0,16 + \frac{108 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 890 \text{ А.}$$

По каждому кабелю проходит ток $0,5 I_K = 445 \text{ А.}$

г) Короткое замыкание в точке К3, кабель от А до Б отключен:

$$R_{вш} = \frac{0,0175 \cdot 25 \cdot 2}{6} + 0,02 + 0,0442 = 0,209,$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{108 \cdot 1,93}{0,209 + \frac{108 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 740 \text{ А.}$$

д) Короткое замыкание в точке К3, кабель от А до щита отключен:

$$R_{вш} = \frac{0,0175 (25 + 5 + 5)2}{6} + 3 \cdot 0,02 + 0,0434 = 0,307,$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{108 \cdot 1,93}{0,307 + \frac{108 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 550 \text{ А.}$$

е) Короткое замыкание в точке К4 (привод), кабель от А до щита отключен. Сопротивление кабеля

$$R_K = \frac{2 \cdot 0,0175 \cdot 150}{2,5} = 2,1 \text{ Ом;}$$

$$R_{вш} = 0,307 + 2,1 = 2,407,$$

$$R_{вш} > R_{вш,г};$$

$$I_K = \frac{108 \cdot 1,93}{2,407 + \frac{108 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 85 \text{ А.}$$

Ток I_K меньше $25 N = 25 \cdot 8 = 200 \text{ А}$, поэтому расчет уточняется по (5):

$$I_K = \frac{108 \cdot 1,93}{2,407 + \frac{108 \cdot 6,4 \cdot 10^{-3}}{8}} = 84 \text{ А,}$$

результаты практически одинаковы, потому что внешнее сопротивление много больше сопротивления батареев.

2. ЗАЩИТА ЦЕПЕЙ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

Основными параметрами предохранителей являются номинальное напряжение, номинальный ток, номинальный ток отключения. Выбор предохранителей по этим параметрам производится так же, как выбор любого другого коммутационного аппарата, и здесь не рассматривается.

Основными параметрами плавких вставок (плавких элементов) предохранителей являются номинальный ток и защитная (время-токовая) характеристика. Номинальным током плавкой вставки называется наибольший допустимый по условиям нагрева ток нагрузки в продол-

жительном режиме. Вставка перегорает, если ток увеличивается до испытательного значения. Нижним пределом испытательного тока называется ток, при котором вставка не перегорает в течение определенного времени (обычно 1 ч). Для большинства конструкций этот ток равен 1,3—1,5 номинального тока вставки. Верхним пределом испытательного тока называется ток, при котором вставка сгорает за время менее 1 ч. Для большинства конструкций верхний предел испытательного тока равен 1,6—2,1 номинального тока вставки. Защитной характеристикой вставки называется зависимость времени сгорания вставки (с учетом времени гашения дуги) от проходящего по вставке тока.

На рис. 7 даны защитные характеристики вставок АА и ББ. По оси ординат отложено t — время отключения тока данной вставкой, по оси абсцисс I — ток, проходящий по вставке. Для уменьшения размеров чертежа время и ток обычно даются в логарифмическом масштабе.

Защитные характеристики АА и ББ являются средними. Действительное время отключения может значительно отличаться от среднего. Оно зависит от технологического разброса параметров вставок, температуры окружающего воздуха, качества контактов, срока службы вставки и прочих, не поддающихся учету причин. В результате защитная характеристика из линии превращается в область A_1A_2 и B_1B_2 . Разброс отклонения действительного времени отключения от среднего, приводимого заводом-изготовителем, не нормирован. Для обес-

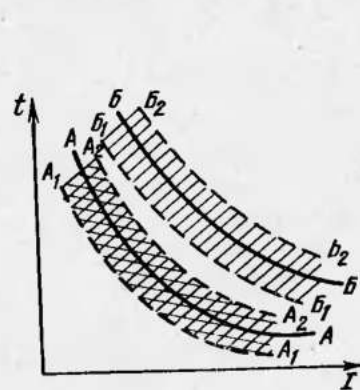


Рис. 7. Защитная характеристика предохранителей с учетом разбросов.

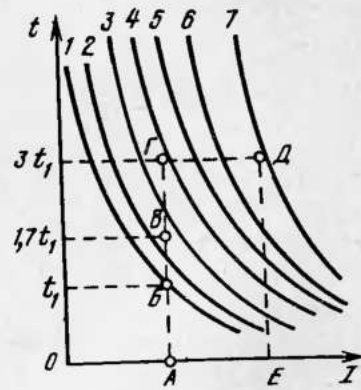


Рис. 8. Графический расчет селективности вставок.

печения селективности смежных вставок в большинстве случаев достаточно учитывать разброс $\pm 25\%$. При этом неселективная работа возможна в сравнительно редких случаях совпадения многих неблагоприятных обстоятельств, вызывающих разброс более 25% . Для достижения полной селективности принимается разброс $\pm 50\%$ [6—8].

Расчет селективности вставок ведется по защитным характеристикам приводимым ниже способом (рис. 8). Рассчитывается максимальный ток КЗ, проходящий через вставку 1 (точка А), и определяется время t_1 отключения ею этого тока (точка Б). Время t_2 отключения этого же тока другой вставкой, установленной ближе к источнику, должно удовлетворять условию $1,25 t_1 < 0,75 t_2$ при разбросе $\pm 25\%$ и $1,5 t_1 < 0,5 t_2$ при разбросе 50% . Эти неравенства приводятся к виду

$$t_2 > 1,7 t_1; \quad (6)$$

$$t_2 > 3 t_1. \quad (7)$$

Продолжается линия АБ и на ней откладываются значения t_2 , равные $1,7 t_1$ или $3 t_1$ (точки В и Г). Все вставки, характеристики которых лежат правее и выше точек В или Г, будут селективными со вставкой 1. При разбросе $\pm 25\%$ со вставкой 1 будут селективны вставки с характеристиками 3—7, а при разбросе $\pm 50\%$ — вставки с характеристиками 4—7.

На основании подобных расчетов можно составить таблицы для выбора номинальных токов вставок по условию селективности. Как пример для выбора вставок предохранителей типа ПН2 приведены табл. 1 для разброса $\pm 50\%$ и табл. 2 для разброса $\pm 25\%$. Номинальные токи вставок приведены для различных отношений тока КЗ к номинальному току $I_{в,ном}$ вставки с меньшим номинальным током, установленной дальше от источника питания, слева в боковике указаны номинальные токи этой вставки. Номинальный ток вставки $I_{в,ном} = 60$ А, отношение $I_{к}/I_{в,ном} = 10$. Номинальный ток вставки, селективной со вставкой 60 А, находится на пересечении строки 60 А и столбца $I_{к}/I_{в} = 10$ и равен 80 А (табл. 2). Таблицы 1 и 2 составлены для случая одностороннего питания места КЗ.

Во вторичных цепях могут применяться только трубчатые закрытые предохранители, например, типов ПР-2,

БЗЕ № 886

Таблица 1. Выбор $I_{в. ном}$ для обеспечения селективности вставок последовательно включенных предохранителей ПН2 при разбросе $\pm 50\%$

$I_{в. ном} А$	$I_{в. ном} А, \text{ при } I_K/I_{в. ном}$				
	10	20	50	100	150 и более
30	50	60	120	150	200
40	60	80	120	200	200
50	80	100	120	250	250
60	100	120	150	250	250
80	120	120	200	250	250
100	120	120—150	200	200	250
120	150	200	300	300	300
150	200	250	300	300	300
200	250	300	400	400	400
250	300	400	600	—	—
300	400	500	—	—	—
400	600	—	—	—	—

Таблица 2. Выбор $I_{в. ном}$ для обеспечения селективности вставок последовательно включенных предохранителей ПН2 при разбросе $\pm 25\%$

$I_{в. ном} А$	$I_{в. ном} А, \text{ при } I_K/I_{в. ном}$			
	10	20	50	100 и более
30	40	50	80	120
40	50	60	100	120
50	60	80	120	120
60	80	100	120	120
80	100	120	120	150
100	120	120	150	150
120	150	150	250	250
150	200	200	250	250
200	250	250	300	300
250	300	300	400	—
300	400	400	—	—
400	500	600	—	—

ПН2, НПН. Трубчатые открытые предохранители, например, типа СПО применять нельзя, так как выброс продуктов горения дуги из патрона может вызвать перекрытие токоведущих частей и повторное КЗ. Резьбовые пробочные предохранители также применять нельзя, так как они могут вывернуться при вибрации и сотрясениях.

Предохранители типа ПР2 можно перезаряжать на месте установки, но это требует значительного времени, не исключает ошибки персонала и может не обеспечить качество перезарядки, особенно в аварийных условиях. Предохранители типа ПН2 можно перезаряжать только в специальной мастерской со строгим соблюдением технологического процесса, обеспечивающего качество перезарядки. Перезарядка предохранителей НПН заводом-изготовителем не предусмотрена. Для каждого типа и номинального тока предохранителей вставок необходимо иметь запасные вставки или полностью заряженные патроны. Для облегчения эксплуатации желательно, чтобы в цепях вторичных соединений, собственных нужд, постоянного и переменного тока были однотипные предохранители с минимальным количеством вставок с различными номинальными токами. Все эти соображения необходимо учитывать при выборе предохранителей.

Вторичные цепи, питающиеся от аккумуляторов, имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при выборе предохранителей. Подавляющее большинство этих цепей (цепи электромагнитов включения, цепи управления выключателями, цепи релейной защиты и автоматики и т. д.) нормально не несут никакой нагрузки или же нагрузка их ничтожно мала. Максимальная нагрузка кратковременна и не превышает обычно нескольких секунд.

Сечения проводов и кабелей в этих цепях, как правило, определяются в зависимости от потери напряжения в них при максимальной нагрузке. Поэтому обычно длительно допустимый для них ток нагрузки значительно превышает действительную максимальную нагрузку. Перегрузка вторичных цепей практически невозможна. Эти цепи защищаются только от КЗ. Исключением являются электромагниты включения масляных выключателей и электромагниты управления воздушными выключателями, требующие защиты от длительного прохождения номинального тока.

Особо важным является требование малого времени отключения КЗ (доли секунды). Большое время отключения КЗ может полностью нарушить работу релейной защиты из-за снижения напряжения при КЗ в цепях оперативного тока. Следует отметить, что предохранитель по принципу действия не может отказать при отключении КЗ. Единственной причиной отказа может быть

ошибка оперативного персонала, установившего явно непригодную вставку. В этом случае отключение КЗ обеспечивается следующим предохранителем.

Расчет защиты предохранителями обычно не дает однозначного решения. Окончательное решение принимается с учетом местных условий. Основным является вопрос выбора режима питания — замкнутого или разомкнутого кольца.

Преимуществами режима замкнутого кольца являются: меньшие потери напряжения в сети, а следовательно, и большая надежность работы выключателей; при случайном перегорании предохранителя на одном из питающих кольцо кабелей сохраняется питание электромагнитов включения выключателей по другому кабелю. Однако режим замкнутого кольца имеет и ряд недостатков. В общем случае увеличивается время отключения КЗ за счет уменьшения тока I_k , проходящего через отдельные предохранители. При наличии двух шин (+) на батарее может исчезнуть питание электромагнита включения от одной из них. Если при этом сработает автоматика (АПВ, АВР), то может повредиться электромагнит включения, так как в его цепи не разомкнется вспомогательный контакт выключателя. В режиме разомкнутого кольца на каждый кабель включена примерно половина сборок и вероятность указанного повреждения снижается.

Короткое замыкание в любой точке схемы замкнутого кольца приводит к исчезновению оперативного тока в цепях автоматики и управления.

В схеме замкнутого кольца трудно выполнить цепи контроля и сигнализации о перегорании вставок. В схеме разомкнутого кольца эта сигнализация выполняется просто: за предохранителем (после него считая от источника питания) включается неоновая лампа (на подстанциях с постоянным дежурным персоналом) или промежуточное реле, находящееся под напряжением в рабочем режиме (на подстанциях без постоянного дежурного персонала). При перегорании предохранителя гаснет лампа или отпадает реле, замыкая цепь телесигнализации.

Выбор типа предохранителей и номинального тока вставки производится в следующем порядке:

подбирается тип предохранителя по номинальному напряжению и номинальному току отключения;

определяется характер и максимальное значение тока нагрузки и по ним подбирается номинальный ток предохранителя;

по значению и продолжительности нагрузки выбирается номинальный ток плавкой вставки;

по току КЗ и защитным характеристикам проверяется селективность, чувствительность и время отключения вставок последовательно включенных предохранителей.

Номинальный ток вставки предохранителя в цепях электромагнита включения выбирается следующим способом.

Электромагнит включения работает в повторно-кратковременном режиме с большим временем между включениями. Для расчета вставки предохранителя обычно пользуются аналогией с пуском короткозамкнутого асинхронного двигателя. Для таких двигателей ПУЭ рекомендует выбирать номинальный ток вставки по выражению

$$I_{в.ном} = KI_n, \quad (8)$$

где I_n — пусковой ток; K — коэффициент, зависящий от продолжительности пуска; при легком пуске (продолжительностью 2—5 с) $K=0,4$; при тяжелом пуске (продолжительностью 10 с и более) $K=0,5 \div 0,625$. Обычно (8) удовлетворяется, если проходящий через вставку ток при пуске не превышает примерно 50 % тока, плавящего вставку за время пуска.

Для электромагнита включения условия более легкие, чем для электродвигателя: время включения выключателя значительно меньше 2 с, а количество включений выключателя меньше количества пусков двигателей, поэтому обычно принимается $K=0,3 \div 0,35$, а I_n равным номинальному току защищаемого электромагнита.

Наличие АПВ шин накладывает дополнительные условия на расчет защиты предохранителями. В результате действия устройств АПВ шин при нарушении фиксации включаются все выключатели, отключенные дифференциальной защитой шин. Этот режим сопровождается довольно длительным током, проходящим по обмоткам электромагнитов включения.

При выборе вставок для защиты батареи следует учитывать количество шин (+). Если шина (+) общая для цепей электромагнитов включения и релейной защиты, как на рис. 1, то расчетный ток для выбора

вставки будет равен сумме тока нормальной нагрузки, обычно составляющего $5N$, и тока электромагнита включения. Номинальный ток вставки по этому условию выбирается 0,5—0,6 расчетного. Целесообразнее иметь раздельные шины (+). В этом случае при КЗ на шинах питания электромагнитов включения сохраняется питание устройств релейной защиты и сигнализации о перегорании вставок. Это особенно важно для подстанций без постоянного дежурного персонала.

Основные данные некоторых типов предохранителей даны в приложении 1, а их защитные характеристики — в приложении 2.

Пример 3. Рассчитать защиту предохранителями кольца питания электромагнитов включения масляных выключателей по рис. 3 и данным примера 1.

Решение. По номинальному напряжению 220 В и максимальному току КЗ 2060 А выбираются все предохранители типа ПН2 (см. приложение 1).

Номинальный ток предохранителей, установленных в шкафах сборок А, Б, В и на щите управления, принимается 250 А, так как номинальный ток электромагнита включения выключателя МКП-110М равен 244 А (см. приложение 4).

Расчет плавкой вставки предохранителей, установленных на сборках А, Б, В для защиты электромагнита включения, ведется по защитным характеристикам предохранителей ПН2 (см. приложение 2).

По (8) $I_n = (0,3 \div 0,35) 224 = 73 \div 88$ А. Предварительно выбирается вставка 80 А. Нормированное время включения выключателя МКП-110М составляет 0,6 с, а при учете ухудшения состояния привода между ремонтами это время с запасом можно принять равным 1,4 с. Затем определяется, при каком токе за время 1,4 с перегорит вставка 80 А. По защитным характеристикам этот ток равен 400 А и составляет $244/400 = 0,6$ тока электромагнита включения (т. е. близко к 50 %). Чувствительность вставки проверяется при минимальном токе $I_k = 870$ А (рис. 4, з). Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}} = 870/80 = 10,8$, а время перегорания вставки около 0,05 с, что удовлетворяет требованиям.

Допустимое время прохождения номинального тока 244 А для электромагнита включения составляет 10 с. При этом токе вставка 80 А перегорает за время около 15 с, что превышает допустимое. Однако в рассматриваемом и в ряде других случаев приходится использовать предохранители лишь для защиты от КЗ.

Действительно, если выбрать вставку с номинальным током 60 А, то при токе 244 А она перегорает за 3 с, а с учетом разбро-

са 50 % может перегореть и за 1,5 с. Такая вставка обеспечивает защиту от длительного прохождения номинального тока, но не обеспечивает надежной работы привода и поэтому не может быть использована.

Если принять вставку 100 А, то $k_{\text{ч}} = 870/100 = 8,7$, а время перегорания при 870 А составит около 0,1 с. Вставка 100 А будет более надежно работать при многократных включениях и отключениях выключателя, например при ремонтных и наладочных работах. Однако такая вставка тем более не обеспечит защиту от длительного прохождения рабочего тока — время ее сгорания при токе 244 А составляет несколько минут. Кроме того, применение вставки 100 А вызовет увеличение номинального тока вставок предохранителей, защищающих кабели, а следовательно, и увеличение времени отключения КЗ, поэтому наиболее целесообразно выбрать вставку 80 А.

Выбор вставок предохранителей, защищающих кабели, производится прежде всего из условия селективности со вставками предохранителей, защищающих электромагниты включения, в соответствии с рис. 4.

При КЗ в электромагните наибольший ток I_k через вставку предохранителя, защищающего кабель, составляет 1195 А (при КЗ в точке К2 и отключенном кабеле между сборками А и Б).

Установленная в предохранителе электромагнита вставка 80 А при токе 1195 А перегорает примерно за 0,02 с. С учетом разброса 50 % время перегорания вставки предохранителя, защищающего кабель, должно быть не менее $3 \cdot 0,02 = 0,06$ с. Этому условию удовлетворяет вставка 120 А, время перегорания которой при 1195 А составляет около 0,15 с.

Вставка предохранителя электромагнита 100 А при токе 1195 А перегорает примерно за 0,03 с и также селективна с вставкой предохранителя кабеля 120 А.

Чувствительность вставки предохранителя кабеля 120 А проверяется при минимальном токе через нее, равном 640 А (при КЗ в точке К3 на сборке Б в схеме замкнутого кольца). Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}} = 640/120 = 5,35$, а время перегорания около 4 с. Это время недопустимо велико, так как аккумуляторная батарея СК-8 в течение 5 с может выдерживать ток только $46N = 46 \cdot 8 = 368$ А, через нее же в этом случае проходит ток 1280 А. Кроме того, в этом режиме напряжение на шинах $U = I_k \Sigma R = 640 \cdot 2 \times 0,067 = 86$ В, что составляет 0,39 $U_{\text{ном}}$. Это может нарушить работу релейной защиты и автоматики.

Для снижения времени отключения необходимо разомкнуть кольцо, например, на сборке Б. При этом $I_k = 1090$ А и время перегорания вставки 120 А будет около 0,3 с, что можно считать допустимым.

Далее следует проверить, удовлетворяют ли выбранные вставки условиям АПВ шин. При АПВ шин промежуток времени между включениями выключателей обычно 1,0—1,5 с, за это время вставка не успеет полностью остыть. Поэтому с запасом принимается, что все 7 выключателей включаются друг за другом в течение 12—14 с. Это время складывается из времени включения 7 выключателей по 0,6 с и шести промежутков времени между включениями по 1,5 с. Номинальный ток вставки принимается по (8) как для особо тяжелого пуска $(0,5 \div 0,6) 244 = 120 \div 150$ А. Таким образом, выбранная вставка 120 А удовлетворяет и условиям АПВ шин. Вставка 150 А при КЗ на сборке Б (ток 1090 А) и разомкнутом кольце перегорает за 1,0 с, а при замкнутом кольце и КЗ в той же точке (ток 640 А) — примерно за 20 с. Поэтому при замкнутом кольце целесообразно выбрать вставку 120 А.

Номинальный ток вставки предохранителя, защищающего батарею, выбирается из условия селективности со вставками предохранителей, защищающих кабели.

Расчетными являются схема замкнутого кольца и КЗ в точке КЗ (на сборке Б). В этом режиме по вставке кабеля проходит ток 640 А, а по вставке батареи — 1280 А.

Как выше рассчитано, вставка 120 А при 640 А сгорает за $t_1 = 4$ с. Расчетное время для вставки батареи $t_2 = 3 t_1 = 12$ с при 1280 А. Этим условиям соответствует вставка 300 А. Ее чувствительность при КЗ на шинах $k_n = 2060/300 = 7$, а время перегорания (около 2 с) недопустимо велико.

Для уменьшения времени перегорания целесообразно работать в режиме разомкнутого кольца.

При вставке предохранителя кабеля 120 А и токе КЗ в режиме разомкнутого кольца 1090 А $t_1 = 0,4$ с, $t_2 = 3 \cdot 0,4 = 1,2$ с. Для батареи оказывается селективной вставка 150 А. Ее время перегорания при КЗ на шинах 0,15 с.

Если шина (+) общая для цепей электромагнитов включения и релейной защиты, как на рис. 1, то расчетным током для вставки батареи будет сумма тока нормальной нагрузки, составляющая около 5 А, и тока электромагнита включения: $5 + 185 = 225$ А. Номинальный ток вставки $(0,5 \div 0,6) 225 = 112 \div 135$ А.

Целесообразно иметь отдельные шины (+). В этом случае при КЗ на шинах питания электромагнитов включения сохраняется питание устройств релейной защиты и питания сигнализации о перегорании вставок. Последнее особенно важно для подстанций без постоянного дежурного персонала.

Для ориентировочной проверки расчетов в рассматриваемой кольцевой сети можно использовать данные табл. 1.

Для вставки 80 А $I_k/I_n > 10$, поэтому со вставкой 80 А селек-

тивна вставка 120 А, а со вставкой 120 А — вставка 150 А и т. д.

В табл. 3 приведены результаты расчетов примера.

Пример 4. Рассчитать защиту предохранителями кольца питания панелей релейной защиты, управления и автоматики по рис. 6 и примеру 2.

Таблица 3. Результаты расчетов защиты предохранителями кольца питания электромагнитов включения

Схема сети и точка КЗ по рис. 4	Вставка электромагнита $I = 80$ А			Вставка кабеля $I = 120$ А			Вставка батареи $I = 150$ А		
	I_k	k_n	t , с	I_k	k_n	t , с	I_k	k_n	t , с
К1 (а)	—	—	—	2060	17,2	0,04	2060	13,7	0,1
К1 (б)	—	—	—	730	6,1	2	730	4,85	10
К3 (е)	1280	16	0,015	640	5,33	4	1280	8,55	0,3
К2 (е)	870	10,9	0,04	870	7,25	1	870	5,8	3

Решение. Расчет начинается с предохранителей, установленных на панелях А, Б, В в цепях управления, защиты и автоматики четырех линий 110 кВ, двух трансформаторов и шиносоединительного выключателя. Определяется максимальный ток, проходящий через предохранитель при работе релейной защиты. В цепях дистанционной защиты и защиты от замыканий на землю каждой линии установлены общие предохранители. В цепях дифференциально-фазной защиты установлены отдельные предохранители. Расчетным режимом будет одновременная работа дистанционной и защиты от замыканий на землю при двухфазном замыкании на землю у шин противоположной подстанции и отказе дифференциально-фазной защиты. Суммарный ток нагрузки при срабатывании обоих комплектов релейной защиты и электромагнита отключения определяется по справочникам и составляет примерно 6,5 А. Для большей надежности номинальный ток плавкой вставки предохранителя принимается 10 А. Так как предохранители типа ПН2 не имеют таких вставок, то принимаются предохранители НПП-15 (см. приложение 1) с номинальным током 15 А и вставкой 10 А. Защитные характеристики этих предохранителей даны в приложении 3.

При КЗ в приводе выключателя в режиме разомкнутого кольца чувствительность вставки $k_n = \frac{85}{10} = 8,5$ и время перегорания 0,3 с.

Применить предохранители ПН2 со вставкой 30 А нельзя, так как ее чувствительность $k_n = 85/30 = 2,85$ и время перегорания около 40 с, что недопустимо.

Для защит, действующих на несколько выключателей (дифференциальная и газовая защиты трансформаторов, дифференциальная защита шин, УРОВ и др.), предохранители устанавливаются в цепях отключения каждого выключателя, поэтому нагрузка от релейной защиты трансформаторов и шиносоединительного выключателя будет меньше, чем от релейной защиты линии. Для цепей этих защит также принимаются предохранители НПН-15 со вставкой 10 А.

На подстанциях встречаются схемы, в которых цепи отключения выключателей имеют общие предохранители. Это следует учитывать при выборе номинальных токов вставок.

Для предохранителей кабелей, питающих кольцо А, Б, В, расчетным будет режим КЗ на шинах 110 кВ с нарушенной фиксацией, когда от дифференциальной защиты шин одновременно отключаются 7 выключателей и запустятся четыре комплекта дифференциально-фазной защиты. При этом суммарная кратковременная нагрузка составит примерно 45—50 А. Принимается предохранитель ПН2 с номинальным током 100 А и вставкой 50—60 А. Чувствительность при КЗ в точке КЗ и отключенном кабеле от панели А до щита будет $k_{\text{ч}} = 550/50 = 11$ и время отключения около 0,04 с.

Для предохранителей НПН-60 со вставкой 60 А чувствительность $k_{\text{ч}} = \frac{550}{60} = 9,2$ и время отключения 0,25 с. Пригодны оба варианта. При КЗ на панели Б и замкнутом кольце чувствительность $k_{\text{ч}} = \frac{415}{50 - 60} = 8,3 \div 6,95$ и время отключения 0,2—0,5 с.

Селективность со вставкой предохранителя НПН 10 А проверяется при КЗ на панели А и отключенном кабеле между А и Б при токе 740 А. Время перегорания вставки 10 А около 0,008 с, 50 А — около 0,095 с, 60 А — около 0,15 с и селективность обеспечивается для всех случаев.

Предохранитель, защищающий батарею, в зависимости от местных условий должен рассчитываться двумя способами. Если от шин (+) — (—108) питаются электромагниты включения с током до 185 А, то он рассчитывается, как указано в примере 3, по сумме токов включения и максимальной аварийной нагрузки. Если же электромагниты включения подключены к другой шине (+), то этот предохранитель рассчитывается по максимальной аварийной нагрузке с учетом работы релейной защиты. Проверка чувствительности и селективности производится по изложенным выше принципам.

Для расчета принимается, что от шин (+108) питается релейная защита с максимальным током нагрузки 50 А, аварийное освещение $5N = 5 \cdot 8 = 40$ А и приводы выключателей типа ПЭ-2 трансформаторов на стороне 6 кВ МГГ-10 с током электромагнита

включения 73 А. Расчетный режим — включение на КЗ выключателя трансформатора. В этом случае работает защита трансформатора с суммарным током нагрузки около 10 А, суммарный ток $I_{\text{н}} = 10 + 40 + 73 = 123$ А. Принимается предохранитель ПН2 на 250 А со вставкой 120 А. Согласование со вставками кабелей производится в режиме КЗ на панели Б при замкнутом кольце. Через вставки кабелей проходит ток 445 А и время их перегорания 0,1 с. Через батарею проходит ток КЗ 890 А, время перегорания вставки 1 с. Результаты расчетов даны в табл. 4. Результаты расчетов приемлемы, за исключением одного случая — КЗ в приводе и отказ предохранителя, защищающего кабель, идущий в привод. В этом случае вставка кабелей, питающих сборки, имеет чрезмерное время сгорания около 10 мин.

Таблица 4. Результаты расчетов защиты предохранителями кольца питания панелей защиты и управления

Схема сети и точка КЗ по рис. 6	Вставка предохранителей, защищающих								
	кабель в привод при $I_{\text{в, ном}} = 10$ А			кабели питания панелей при $I_{\text{в, ном}} = 50$ А			батарею при $I_{\text{в, ном}} = 120$ А		
	$I_{\text{к}}, \text{ А}$	$k_{\text{ч}}$	$t, \text{ с}$	$I_{\text{к}}, \text{ А}$	$k_{\text{ч}}$	$t, \text{ с}$	$I_{\text{к}}, \text{ А}$	$k_{\text{ч}}$	$t, \text{ с}$
К4 (а)	85	8,5	0,9	85	1,7	10 мин	—	—	—
К1 (б)	—	—	—	595	11,8	0,05	—	—	—
К2 (в)	890	89	0,007	445	8,9	0,1	890	7,4	1
КЗ (г)	740	7,4	0,007	740	14,7	0,015	740	6,15	2
К1 (а)	—	—	—	1900	38	0,01	1900	15,8	0,05

3. ЗАЩИТА ЦЕПЕЙ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ

Для защиты цепей аккумуляторных батарей используются автоматические выключатели различных типов: АП50-2МТ, АВМ4С, АЗ700 и др.

Автоматический выключатель АП50-2МТ имеет комбинированный расцепитель, состоящий из мгновенного электромагнитного (буква М в обозначении) — отсечки и теплового с зависящей от тока характеристикой выдержки времени (буква Т в обозначении). Номинальный ток всех выключателей этого типа 50 А. Номинальные токи тепловых зависимых расцепителей 1,6; 2,5; 4,0; 6,4; 10; 16; 25; 40 и 50 А. Ток срабатывания теплового расцепителя может регулироваться в пределах $(0,65 \div$

1,0) $I_{\text{ном}}$ с большим разбросом (до $\pm 25\%$), поэтому регулировку рекомендуется производить лишь в случаях крайней необходимости.

При токе 1,1 $I_{\text{ном}}$ время срабатывания теплового расцепителя 1 ч, при 1,35 $I_{\text{ном}}$ не более 30 мин, а при 6 $I_{\text{ном}}$ от 2 до 10 с.

Защитная характеристика, снятая на переменном токе при температуре окружающего воздуха $+35^\circ\text{C}$ и холодном состоянии расцепителя, приведена в приложении 7. Эта характеристика существенно зависит от температуры, поэтому выключатель предназначен для работы при температуре $-10 \div +40^\circ\text{C}$.

Как правило, тепловой расцепитель не может быть использован для защиты от КЗ ввиду большого времени срабатывания и больших разбросов по времени. Тепловой расцепитель этого выключателя обычно используется для защиты от перегрузок или длительного прохождения рабочего тока в защищаемом элементе, если последний не рассчитан на этот режим.

Мгновенный расцепитель имеет два исполнения по току срабатывания: с кратностью 3,5 к номинальному току теплового расцепителя $I_{\text{ном}}$ и разбросом ($3 \div 4$) $I_{\text{ном}}$ и с кратностью 11 $I_{\text{ном}}$ и разбросом ($8 \div 14$) $I_{\text{ном}}$. При работе на постоянном токе эти значения увеличиваются на 30 %. Время срабатывания этого расцепителя 0,017—0,020 с.

Выключатели АП50-2МТ достаточно просты в эксплуатации и дешевы. Некоторые параметры этих выключателей приведены в приложении 6.

Выключатели АВМ4С выпускаются двух- и трехполюсными, с ручным или 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: «0», «Мин.» и «Макс.». При уставке «0» выключатель отключается мгновенно, при уставке между «0» и «Мин.» время отключения неустойчиво и изменяется от нуля до небольшого, но неопределенного значения. При уставке между «Мин.» и «Макс.» выдержка времени достаточно стабильна.

Независимый расцепитель по принципу работы аналогичен известному реле типа РТВ. При больших кратностях тока якорь притягивается к электромагниту мгновенно и натягивает пружину второго часового механизма. По истечении установленной независимой выдержки времени выключатель отключается. Зависимый расцепитель в этом случае начинает работать, но доработать не успевает.

Параметры расцепителей выключателей АВМ4С приведены в приложении 8, а их защитные характеристики — в приложении 9.

Расцепители характеризуются номинальным током (током, который расцепитель выдерживает длительно), током срабатывания зависимого и независимого расцепителей, а также выдержкой времени в независимой части характеристики. Разброс по току срабатывания зависимого и независимого расцепителей до 10 %, разброс по выдержке времени независимого расцепителя — до 15 %.

Под разбросом (или коэффициентом разброса k_p) понимается отношение максимальной разности измеренных значений величины (тока или времени срабатывания) к ее среднему значению. Среднее значение определяется как отношение суммы показаний приборов при нескольких измерениях к количеству измерений. Все измерения производятся в одинаковых условиях при неизменном положении регулятора срабатывания. При наладке задается и настраивается среднее значение величины.

Использование коэффициента разброса вместо обычной погрешности вызвано тем, что уставки по току и по времени для этих расцепителей могут регулироваться плавно и положение регулятора (поводка, указателя) может не совпадать с отметкой по шкале, калибруемой на заводе-изготовителе.

Независимый расцепитель выключателя АВМ4С предназначен для защиты от КЗ. Зависимый расцепи-

тель используется для защиты от перегрузок и является резервным при КЗ.

Конструкция расцепителей выключателей АВМ4С сложна и требует высокой квалификации персонала при наладке и ремонте.

Выключатели АЗ700 выпускаются в различных конструктивных вариантах, с ручным или дистанционным управлением, двухполюсными для работы на постоянном токе и двух- и трехполюсными для работы на переменном токе. Выключатели могут иметь тепловые, электромагнитные и полупроводниковые расцепители. Допустимая температура окружающего воздуха для выключателей $-40 \div +40^\circ\text{C}$.

Полупроводниковые расцепители имеют плавную регулировку тока и времени срабатывания зависимого и независимого расцепителей, конструктивно выполняются в виде отдельного съемного блока, что облегчает эксплуатацию (возможна предварительная проверка и настройка запасных блоков). Расцепитель не срабатывает при токе $1,05 I_{\text{ном}}$ (номинального тока расцепителя), а при токе $(1,2 \div 1,3) I_{\text{ном}}$ срабатывает с временем 400—800 с.

В приложении П10 приведены сведения о двухполюсных выключателях постоянного тока с полупроводниковыми расцепителями (используемых для защиты цепей постоянного тока), а в приложении П1 — их защитные характеристики. Более подробные сведения об этих расцепителях даны в информации заводов-изготовителей.

Эксплуатация и наладка этих расцепителей весьма сложна и требует высокой квалификации персонала.

Расчет параметров срабатывания и проверка чувствительности автоматических выключателей. Расчет следует начинать с защиты, наиболее удаленной от источника питания. Каждая последующая защита (в направлении к источнику питания) должна быть согласована с предыдущей по току и времени срабатывания.

Токи срабатывания независимого и зависимого расцепителей выключателей связаны определенными соотношениями. При расчетах, как правило, не удается получить однозначного решения. Из ряда вариантов приходится выбирать наиболее целесообразный по конкретным местным условиям.

Ток срабатывания независимого расцепителя (отсечки) $I_{\text{с,р(н)}}$ должен отстраиваться от номинального тока

защищаемого элемента I_a по выражению

$$I_{\text{с,р(н)}} = \frac{k_a k_n}{k_T (1 - k_n)} I_a, \quad (9)$$

где $k_a = 1,1 \div 1,2$ — коэффициент запаса, учитывающий неточность расчетов; $k_n = 1,1$ — коэффициент, учитывающий повышение напряжения (а следовательно, и тока) при заряде батареи; k_T — коэффициент, учитывающий заглубление расцепителя при работе на постоянном токе: для выключателей АП50-МТ, калибруемых на заводе на переменном токе, $k_T = 1,3$, для остальных выключателей $k_T = 1$; k_n — коэффициент погрешности, представляющий собой отношение максимальной разности действительного тока срабатывания и тока уставки по шкале к току уставки по шкале: для выключателей АП50-МТ при $I_{\text{с,р(н)}} = 3,5 I_{\text{ном}}$ $k_n = \pm 0,15$, при $I_{\text{с,р(н)}} = 11 I_{\text{ном}}$ $k_n = \pm 0,27$. Для выключателей АВМ4С и АЗ700 вместо k_n используется указанный выше коэффициент разброса k_p .

Ток срабатывания независимого расцепителя последующей защиты $I_{\text{с,р(н)n}}$ должен быть отстроен от тока срабатывания аналогичного расцепителя предыдущей защиты $I_{\text{с,р(н)(n-1)}}$ по выражению

$$I_{\text{с,р(н)n}} = \frac{k_a k_T (1 + k_{n(n-1)})}{1 - k_{nn}} I_{\text{с,р(н)(n-1)}}, \quad (10)$$

где $k_{n(n-1)}$, k_{nn} — погрешность (или разброс) защиты $n-1$, от которой производится отстройка, и защиты n соответственно.

Время срабатывания независимого расцепителя каждой последующей защиты должно быть на 0,15—0,2 с больше предыдущей. Согласно ПУЭ независимый расцепитель обеспечивает защиту от КЗ, если его коэффициент чувствительности в худшем расчетном случае $k_{\text{ч}} \geq 1,5$.

Ток срабатывания зависимого расцепителя $I_{\text{с,р(з)}}$ выбирается в зависимости от предъявляемых к нему требований. Если этот расцепитель должен защищать элемент от длительного прохождения номинального тока $I_{\text{ном}}$, то задается допустимое время t_d прохождения этого тока. По защитным характеристикам для заданных t_d и $I_{\text{ном}}$ (рис. 9) подбирается характеристика 2. Характеристика 3 не обеспечивает требуемую защиту, так как $t_3 > t_d$; характеристика 1 снижает надежность работы

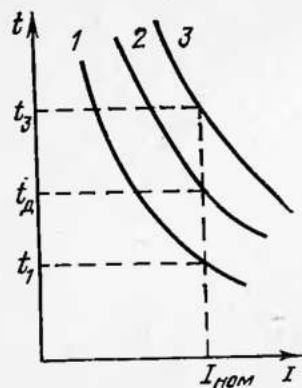


Рис. 9. Выбор защиты от длительного прохождения номинального тока.

элемента (возможны излишние отключения), так как $t_1 < t_d$.

Если к зависимому расцепителю не предъявляется требование защиты элемента от длительного прохождения номинального тока, то его ток срабатывания целесообразно отстроить от этого тока по (9). Это исключит излишние пуски механизма, а следовательно, уменьшит его износ. Однако при таком выборе тока срабатывания в ряде случаев недопустимо загроубляется независи-

мый расцепитель (как указывалось выше, токи срабатывания этих расцепителей связаны определенными соотношениями). Поэтому для выключателей, которые редко меняют свое положение (постоянно включены), считается допустимым не производить отстройку от номинальных токов защищаемых элементов. При этом необходимо тепловые расцепители отстраивать по времени от работы выключателей или других механизмов.

Следует учитывать, что при АПВ шин, сопровождающемся включением многих выключателей, существенно возрастают токи в оперативных цепях, а время срабатывания зависимых расцепителей существенно уменьшается. Это может привести к срабатыванию последних, а следовательно, к отключению оперативного тока. Поэтому вводятся промежутки времени между включениями от АПВ шин. За время включения одного выключателя (около 0,6 с) зависимый расцепитель с часовым механизмом не успевает сработать, а в промежутках между включениями успевает вернуться. Зависимые тепловые расцепители за эти промежутки не успевают остывать, поэтому в рассматриваемом режиме их необходимо отстраивать по току или по времени. Согласно ПУЭ коэффициент чувствительности зависимого расцепителя должен быть $k_q \geq 3$, если он предназначен для защиты от перегрузки, и $k_q \geq 5$ для защиты только от КЗ.

Токи срабатывания зависимых расцепителей смежных

защит так же, как и независимых, должны согласовываться друг с другом по (10).

Уставка по времени зависимого расцепителя выбирается минимально возможной из условия селективности с предыдущей защитой.

Особо следует отметить, что технические данные аппаратуры все время изменяются. Регулярно пересматриваются ГОСТ, технические условия, разрабатывается аппаратура с новыми техническими данными, поэтому приведенные далее расчеты в значительной степени следует рассматривать как примеры, поясняющие методику расчета.

Пример 5. Рассчитать защиту кольца электромагнитов включения выключателей по схеме на рис. 3 и примеру 1 с помощью автоматических выключателей АП50-МТ и АВМ4С.

Решение. Расчет, как и в предыдущем примере, следует начинать с защиты электромагнитов включения. Целесообразно прежде всего рассмотреть возможность использования выключателя АП50-МТ.

Время прохождения номинального тока в электромагнитах включения не должно превышать $t_d = 10$ с. При заданном токе электромагнита 244 А выбирается тепловой расцепитель с $I_{ном} = 50$ А (максимальный, на которых выпускаются эти расцепители). При этом кратность $K = 244/50 = 4,95$, а время срабатывания 3—10 с (см. приложение 7). Действительное время будет больше за счет более низкой температуры и снижения тока за счет нагрева электромагнита.

Минимальное время срабатывания 3 с с большим запасом отстроено от среднего времени включения выключателя. Однако при ремонтных и наладочных работах, когда выключатель включается многократно с малыми интервалами, этого времени может оказаться недостаточно, так как время остывания теплового расцепителя около 2 мин. Это необходимо учитывать персоналу, производящему ремонт и наладку.

По (9) определяется ток срабатывания отсечки по условию отстройки от номинального тока электромагнита. При кратности 3,5 значение $k_d = 0,15$ и

$$I_{с,р(н)} = \frac{(1,1 \div 1,2) 1,1 \cdot 244}{1,3 (1 - 0,15)} = 294 \div 320 \text{ А.}$$

Следовательно, отсечка с кратностью 3,5 и током срабатывания 150—200 А выбрана быть не может, так как она не отстроена от номинального тока электромагнита. При кратности 11 $k_d = 0,27$ и $I_{с,р(н)1} = 297 \div 324$ А. Выбирается отсечка с расчетным током сраба-

тывания $11 \cdot 50 = 550$ А и действительным током срабатывания с учетом разброса 400—700 А.

Чувствительность отсечки проверяется в худшем случае при КЗ на сборке А и отключенном кабеле между сборкой и щитом

$$k_q = \frac{I_K}{k_T I_{c, p(n)1}} = \frac{870}{1,3 (400 - 700)} = 1,68 \div 0,96.$$

При $k_q \leq 1$ отсечка может отказать и КЗ будет отключаться тепловым расцепителем. При кратности $K = \frac{I_K}{I_{ном}} = \frac{870}{50} = 17,4$ время срабатывания составляет 0,1—0,7 с, что допустимо.

Следует отметить, что вероятность работы отсечки с $k_q < 1$ мала, так как при этом должно совпадать несколько условий: КЗ в определенной точке, режим разомкнутого кольца в определенной точке, максимальная погрешность тока срабатывания. Однако следует учитывать, что коэффициент чувствительности отсечки, защищающей электромагнит, должен быть не менее 1,5.

Это объясняется тем, что при расчете тока КЗ не учтено сопротивление этих кабелей, которое снизит ток, а следовательно, и k_q . Кроме того, при отказе отсечки кабели от сборок А—В будут отключаться зависимым расцепителем с выдержкой времени, на которую они не рассчитаны по термической стойкости, поэтому КЗ в них должны отключаться без выдержки времени.

Таким образом, в рассматриваемом примере защита электромагнитов от КЗ с помощью выключателей АП50-2МТ недостаточно надежна ввиду сниженных значений k_q отсечки.

Ранее выпускались выключатели АП50-2МТ с кратностью отсечки $7 I_{ном}$ и разбросом $(6 \div 8) I_{ном}$. Такие выключатели более пригодны для данного случая, так как чувствительность их отсечек выше. Действительно,

$$k_q = \frac{870}{1,3 \cdot 50 (6 \div 8)} = 2,22 \div 1,68,$$

что удовлетворяет требованиям ПУЭ.

Из приведенных расчетов вытекают основные требования к определению параметров защиты электромагнитов: отключение КЗ в них без выдержки времени, допустимое время прохождения номинального тока не должно превышать 10 с, а время отключения этого тока не должно быть менее 3—4 с.

Расчет защиты кабелей, питающих сборки А, Б, В. Для защиты этих кабелей уже не могут быть использованы расцепители выключателей АП50-2МТ, так как их нельзя отстроить от защиты электромагнитов (отсечки) по времени. Поэтому рассматривается защита кабелей, питающих сборки, с помощью выключателей АВМ4С.

Ток срабатывания зависимого расцепителя выключателя АВМ4С желательно отстроить от тока электромагнита включения I_Δ , чтобы исключить пуск часового механизма при каждом включении выключателя 110 кВ

$$I_{c, p(z)2} = \frac{(1,1 \div 1,2) 1,1}{1 - 0,1} 244 = 330 \div 360 \text{ А},$$

где $k_p = 0,1$ — коэффициент разброса в токе срабатывания расцепителя выключателя кабеля.

Ток срабатывания зависимого расцепителя должен быть не менее длительно допустимого тока нагрузки кабелей 270 А.

По этим условиям в соответствии с приложением 8 следовало бы выбрать расцепитель с $I_{ном} = 250$ А, током срабатывания зависимого расцепителя 310—500 А и током срабатывания независимого расцепителя 2000—2750 А. Однако расчет токов КЗ (см. пример 1) показывает, что независимый расцепитель с таким током срабатывания не будет работать при КЗ.

Далее рассматривается возможность использования расцепителя с $I_{ном} = 150$ А, током срабатывания зависимого расцепителя 300 А и независимого 1200 А. Выдержка времени зависимого расцепителя предварительно принимается «Мин.», а независимого — 0,25 с (на ступень больше времени отсечки защиты электромагнита).

Принятый ток срабатывания $I_{c, p(n)2} = 1200$ А проверяется по условию согласования с отсечкой защиты электромагнита $I_{c, p(n)1}$ по (10)

$$I_{c, p(n)2} = \frac{(1,1 \div 1,2) 1,15 \cdot 1,3}{1 - 0,1} 550 = 1000 \div 1090 \text{ А},$$

что показывает возможность использования отсечки с $I_{c, p(n)2} = 1200$ А.

Целесообразность использования независимого расцепителя с выбранным током срабатывания оценивается коэффициентом чувствительности.

При КЗ в конце кабеля, отключенного от щита (см. рис. 4, б), $k_{q1} = \frac{730}{1200} = 0,61$, кратность тока зависимого расцепителя при этом

$K_1 = \frac{730}{300} = 2,44$, а время срабатывания составляет 4—6 с (см. приложение 9).

При КЗ на сборке Б и замкнутом кольце (см. рис. 4, е) соответственно

$$k_{q2} = \frac{640}{1200} = 0,53; \quad K_2 = \frac{640}{300} = 2,14; \quad t_2 = 4,3 \div 7,5 \text{ с}.$$

При КЗ на сборке Б и разомкнутом кольце (см. рис. 4, ж)

$$k_{чз} = \frac{1090}{1200} = 0,91; \quad K_3 = \frac{1090}{300} = 3,54; \quad t_3 = 2,8 \div 4,0 \text{ с.}$$

Из приведенных расчетов видно, что удовлетворительной защиты кабелей с принятыми токами срабатывания получить нельзя.

Допустив более частые пуски часового механизма при включении выключателей, можно далее попытаться снижать ток срабатывания.

При использовании расцепителя с номинальным током $I_{ном} = 120 \text{ А}$, токами срабатывания зависимого расцепителя 250 А (меньше длительно допустимого тока кабеля) и независимого 1000 А защита также неудовлетворительна. Действительно,

$$k_{ч1} = \frac{730}{1000} = 0,73; \quad K_1 = \frac{730}{250} = 2,9; \quad t_1 = 3,3 \div 5,2 \text{ с;}$$

$$k_{ч2} = \frac{640}{1000} = 0,64; \quad K_2 = \frac{640}{250} = 2,6; \quad t_2 = 3,8 \div 6,5 \text{ с;}$$

$$k_{ч3} = \frac{1090}{1000} = 1,0; \quad K_3 = \frac{1090}{250} = 4; \quad t_3 = 2,5 \div 4,3 \text{ с.}$$

Следовательно, на выключателях АВМ4С не удастся выполнить удовлетворительную защиту кабелей по коэффициентам чувствительности или по времени срабатывания зависимого расцепителя.

Расчет параметров защиты батареи. Прежде всего определим количество используемых выключателей. Может быть использован один трехполюсный выключатель на выводы батареи (+), (—108) и (—128). Расчетный нагрузочный ток при этом равен 284 А, т. е. сумма тока электромагнита включения 244 А и тока аварийной нагрузки, обычно равного $5N = 5 \cdot 8 = 40 \text{ А}$. Возможно использование двух двухполюсных выключателей: один — на выводы (+) и (—128) с расчетным током 244 А, второй — на выводы (+) и (—108) с расчетным током 225 А, равным сумме тока аварийной нагрузки 40 А и тока электромагнита включения 185 А.

В рассматриваемом случае значения расчетного нагрузочного тока мало отличаются друг от друга. В ряде случаев это отличие получается значительным, и тогда целесообразна установка двух выключателей. Установка двух выключателей также существенно повышает надежность питания оперативным током устройств защиты, автоматики и сигнализации. При КЗ на кабеле и отказе его выключателя батарея отключится своим единственным выключателем. Подстанция остается без оперативного тока и, что самое важное, не будет сигнализации об отключении выключателей и отсутствии оперативного тока.

Далее проверяется возможность использования одного выключателя на батарею. Ток срабатывания зависимого расцепителя отстраняется от расчетного нагрузочного тока по (9)

$$I_{с. р(з)3} = \frac{(1,1 \div 1,2) 1,1}{1 - 0,1} 284 = 384 \div 418 \text{ А,}$$

а также согласовывается с током срабатывания 300 А зависимых расцепителей выключателей, установленных на кабелях, питающих сборки А—В, по (10)

$$I_{с. р(з)3} = \frac{2 \cdot 1,1}{1 - 0,1} 300 = 800 \text{ А.}$$

Цифра 2 учитывает, что в режиме замкнутого кольца через защиту батарей проходит вдвое больший ток, чем через защиту кабелей. В соответствии с приложением 8 следует выбрать расцепитель с $I_{ном} = 400 \text{ А}$, током срабатывания зависимого расцепителя 800 А и независимого — 3200 А. В соответствии с рис. 4 независимый расцепитель с таким током срабатывания не защищает шины батареи, а зависимый работает с кратностью $K = 2060/800 = 2,6$, что меньше 3, и временем $t = 6 \div 11 \text{ с}$, что недопустимо. Поэтому далее рассматривается вариант использования двух выключателей для батареи. При этом учитываются данные второго варианта защиты кабелей: ток срабатывания зависимого расцепителя 250 А и независимого 1000 А.

По условию согласования с током срабатывания зависимых расцепителей на выключателях кабелей

$$I_{с. р(з)} = \frac{(1,1 \div 1,2) 1,1}{1 - 0,1} 250 = 337 \div 366 \text{ А.}$$

При номинальном токе расцепителя $I_{ном} = 250 \text{ А}$ и токах срабатывания 350 и 2000 А соответственно зависимого и независимого расцепителей также не будет обеспечена чувствительность при КЗ на шинах. Поэтому целесообразно ухудшить отстройку от расчетных токов и выбрать расцепитель с $I_{ном} = 150 \text{ А}$ и токами срабатывания 300 А и 1200—1650 А соответственно зависимого и независимого расцепителей, а выдержки времени «Макс.» для зависимого и 0,4 с для независимого расцепителей.

Уточненное значение тока срабатывания независимого расцепителя выбирается по условию согласования с током срабатывания аналогичного расцепителя на выключателях кабелей по (10)

$$I_{с. р(н)3} = \frac{(1,1 \div 1,2) 1,1}{1 - 0,1} 1000 = 1340 \div 1460 \text{ А.}$$

При $I_{с. р(н)3} = 1300 \text{ А}$ чувствительность при КЗ на шинах батареи $k_{ч} = \frac{2060}{1300} = 1,4$, что близко к требуемому 1,5.

Таблица 5. Результаты расчетов защиты кольца питания электро АВМ4С

Схема сети и точка КЗ по рис. 4	Цепь электромагнита с выключателем АП50-2МТ				
	Ток, А	Зависимый расцепитель $I_{с, p} = 50 \text{ А}$		Отсечка $I_{с, p} = 550 \text{ А}$	
		$k_{ч}$	$t, \text{ с}$	$k_{ч}$	$t, \text{ с}$
Включение выключателя	244	4,95	3—10	0,61	—
К2 (з)	870	17,4	0,1—0,7	1,68—0,96	0,017
К1 (б)	—	—	—	—	—
К3 (е)	—	—	—	—	—
К3 (ж)	—	—	—	—	—
К1 (а)	—	—	—	—	—

При рис. 10 проверяется селективность защит электромагнитов, кабелей и батарей в режиме разомкнутого кольца: кривые 1 соответствуют времени срабатывания защиты электромагнитов с выключателями АП50-2МТ, кривые 2 и 3 — защиты кабелей и батарей с выключателями АВМ4С соответственно. Так как эти кривые не пересекаются, то селективность обеспечивается.

В режиме замкнутого кольца и КЗ на сборке Б ток по кабелям равен 640 А и время срабатывания зависимого расцепителя выключателя

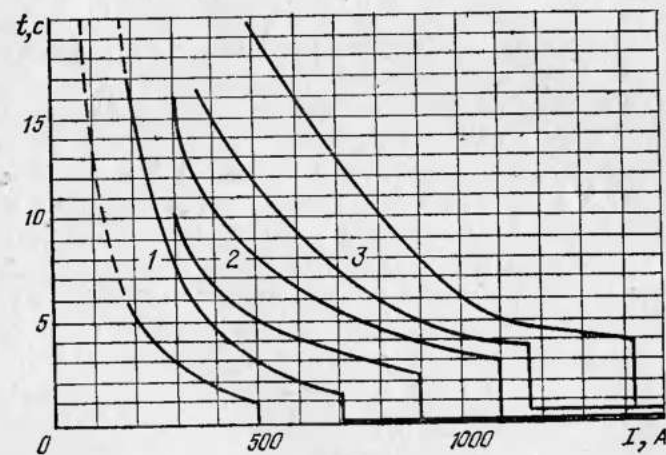


Рис. 10. Согласование защитных характеристик выключателей АП50 и АВМ4С.

магнитов включения с автоматическими выключателями АП50-2МТ и

Кабель с выключателем АВМ4С					Цепь батарей с выключателем АВМ4С				
Ток, А	Зависимый расцепитель $I_{с, p} = 250 \text{ А}$		Отсечка $I_{с, p} = 1000 \text{ А}$		Ток, А	Зависимый расцепитель $I_{с, p} = 300 \text{ А}$		Отсечка $I_{с, p} = 1300 \text{ А}$	
	$k_{ч}$	$t, \text{ с}$	$k_{ч}$	$t, \text{ с}$		$k_{ч}$	$t, \text{ с}$	$k_{ч}$	$t, \text{ с}$
244	1	—	—	—	244	—	—	—	—
870	3,5	2,8—4,8	0,87	—	870	2,9	5—10	0,66	—
730	2,9	3,2—5,2	0,73	—	730	2,43	7,5—19	0,56	—
640	2,56	3,8—6,5	0,64	—	1280	4,25	3,8—6	1	0,4
1090	4,85	2,4—4	1,09	0,25	1090	3,54	4—4,7	0,84	—
2060	8,25	0,25—0,4	2,06	0,25	2060	6,9	2—4,2	1,58	0,4

ателя кабеля составляет 3,8—6,5 с. Через выключатель батарей при этом проходит ток 1280 А и за счет разброса может сработать его отсечка ($I_{с, p(в)} = 1300 \text{ А}$) или зависимый расцепитель с кратностью $K = \frac{1280}{300} = 4$ и временем 3,8—6,0 с, т. е. ранее выключателя

кабеля. В данном частном случае такое неселективное действие защит допустимо, так как отсутствуют другие потребители на шинах батарей (+) и (—128).

Следует учитывать, что характеристики на рис. 10 являются расчетными. При наладке обязательно должны быть сняты и построены действительные характеристики. В ряде случаев для обеспечения селективности при наладке изменяются предварительно принятые решения. Результаты расчетов (табл. 5) позволяют сделать следующие выводы.

Отсечка в защите электромагнитов имеет в ряде режимов сниженную чувствительность: в защите кабелей и батарей независимые расцепители АВМ4С вообще нечувствительны.

Зависимый расцепитель АВМ4С имеет значительное время срабатывания при КЗ. В режиме замкнутого кольца не удастся обеспечить селективную работу расцепителей защиты кабелей и батарей.

Причиной таких неудовлетворительных результатов являются слишком большие токи срабатывания независимых расцепителей выключателей АВМ4С.

Пример 6. Рассчитать защиту автоматическими выключателями АЗ700 кольца электромагнитов включения по рис. 3 и примеру 1.

Решение. *Защита электромагнита.* Аналогично расчетам примера 5 для выбора тока срабатывания зависимого расцепителя исходим из допустимого времени прохождения номинального тока 10 с.

По средней части области кривых $I-t$ в приложении 11 определяется кратность $K=3,3$ для $t_d=10$ с. Ориентировочное значение тока срабатывания зависимого расцепителя при этом составит $244/3,3=73$ А. По приложению 10 выбирается расцепитель РП312Б выключателя АЗ710 с током срабатывания зависимого расцепителя 80 А и уставкой по времени 4 с.

Ток срабатывания независимого расцепителя в соответствии с (9)

$$I_{c, p(n)1} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{1 - 0,1} 244 = 330 \text{ А.}$$

Для выбранного расцепителя по этому значению следует принять отсечку с кратностью 4, что дает ток срабатывания независимого расцепителя $4 \cdot 80 = 320$ А.

Чувствительность независимого расцепителя без выдержки времени (см. рис. 4, г) $k_q = \frac{870}{320} = 2,72$, что вполне удовлетворяет требованиям.

Защита кабелей. Ток срабатывания зависимого расцепителя по условию отстройки от тока электромагнита включения (10)

$$I_{c, p(z)2} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{1 - 0,1} 244 = 330 \text{ А.}$$

По этому условию должен быть выбран выключатель АЗ730 с расцепителем РП335С и током срабатывания зависимого расцепителя 320 А. При этом минимальный ток срабатывания отсечки при кратности 2 составит $2 \cdot 320 = 640$ А. При минимальном токе КЗ в кабеле (см. рис. 4.б) $k_q = 730/640 = 1,15$, что менее требуемого 1,5. Поэтому целесообразно снизить $I_{c, p(z)2}$, что приведет к пуску этого расцепителя при включении выключателей при АПВ шин; в этом случае можно будет обеспечить АПВ шин за счет промежутков времени между включениями выключателей. Кроме того, при включении будет мала кратность токов, а время срабатывания расцепителя значительно (сотни секунд).

С учетом изложенного принимается к установке выключатель АЗ730 с расцепителем РП334 С и токами срабатывания 250 и $2 \cdot 250 = 500$ А зависимого и независимого расцепителей соответственно.

Уставка по времени для независимого расцепителя принимается 0,1 с — большей, чем у аналогичного расцепителя защиты электромагнита. Выдержка времени зависимого расцепителя принимается минимально возможной: 4 с при кратности $K=5$.

Дополнительно следует проверить, что ток срабатывания независимого расцепителя отстроен от тока срабатывания аналогичного расцепителя защиты электромагнита (10):

$$I_{c, p(n)2} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{1 - 0,1} 330 = 430 \text{ А,}$$

что менее принятого значения 500 А.

При КЗ на сборке Б в режиме замкнутого кольца (см. рис. 4, е) чувствительность отсечки $k_q = \frac{640}{500} = 1,28$, что меньше требуемого 1,5. В случае отказа отсечки КЗ будет отключаться зависимым расцепителем с кратностью $K = \frac{640}{250} = 2,56$ и временем 10—50 с (кривые $I-t$ в приложении 11).

Защита батарей. На батарею устанавливаются два выключателя, так как выключатели постоянного тока АЗ700 выпускаются только двухполюсными. Ток срабатывания зависимого расцепителя батареи в общем случае должен согласовываться с током аналогичного расцепителя защиты кабелей (10)

$$I_{c, p(z)3} = 2 \frac{1,1 \cdot 1,1}{1 - 0,1} 250 = 672 \text{ А.}$$

Однако с учетом того, что от шин батарей не питаются другие потребители, за расчетный может быть принят режим разомкнутого кольца. В этом случае $I_{c, p(z)3} = \frac{672}{2} = 336 \text{ А.}$

С учетом полученного значения выбран выключатель АЗ730 с расцепителем РП335С и током срабатывания зависимого расцепителя 320 А.

Ток срабатывания независимого расцепителя по условию согласования с аналогичным расцепителем кабелей должен быть выбран в общем случае по режиму замкнутого кольца:

$$I_{c, p(n)3} = 2 \frac{1,1 \cdot 1,1}{1 - 0,1} 500 = 1344 \text{ А}$$

и при КЗ на шинах его чувствительность

$$k_q = \frac{2060}{1350} = 1,53.$$

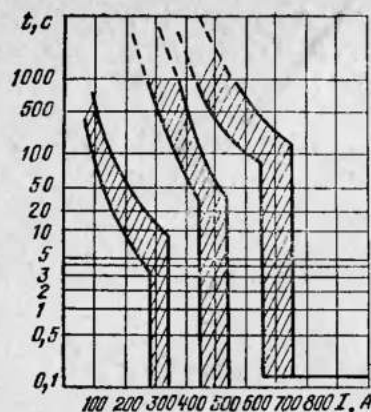


Рис. 11. Согласование защитных характеристик полупроводниковых расцепителей.

В рассматриваемом случае можно учитывать лишь режим разомкнутого кольца и выбрать вдвое меньший ток срабатывания 672 А. Следовательно, ток отсечки может быть выбран $2 \cdot 320 = 640$ А или $4 \cdot 320 = 1280$ А. Принимается значение 1280 А.

Выдержка времени отсечки расцепителя батареи выбирается не менее 0,25 с при времени отсечки расцепителей кабелей 0,1 с.

Согласование по времени зависимых характеристик в общем случае должно производиться в режиме замкнутого кольца (при КЗ на сборке Б). В защите батареи при этом проходит ток 1280 А, кратность $K = \frac{1280}{320} = 4$. При выборе уставки 16 с (кривые 2—2 в приложении 10) время ее работы составит в этом случае 20—50 с и селективность будет обеспечена. На рис. 11 приведено согласование защит при использовании выключателей АЗ700.

В табл. 6 приведены результаты расчетов защиты с выключателями АЗ700, позволяющие сделать следующие выводы.

Таблица 6. Результаты расчетов защиты кольца питания электрома

Схема сети и точка КЗ по рис. 4	Выключатель электромагнита				
	Ток, А	Зависимый расцепитель $I_{с.р} = 80$ А		Независимый расцепитель $I_{с.р} = 250$ А	
		k_q	$t, с$	k_q	$t, с$
Включение выключателя	244	3,05	7—30	0,765	—
К2 (з)	870	10,9	—	2,72	0
К1 (б)	—	—	—	—	—
К3 (е)	—	—	—	—	—
К1 (а)	—	—	—	—	—
К3 (ж)	—	—	—	—	—

Отсечка в защите электромагнитов и кабелей во всех случаях имеет удовлетворительную чувствительность. Отсечка в защите батареи имеет сниженную чувствительность в случаях, когда она должна работать как резервная при отказе выключателей кабелей. Селективность зависимых расцепителей обеспечивается.

Таблицы 4—6 дают возможность сравнить защиты с предохранителями и выключателями АП50-МТ, АВМ4С и АЗ700.

Предохранители не обеспечивают защиту электромагнитов включения от длительного прохождения номинального тока. При КЗ селективность обеспечивается, но приемлемые времена отключения получены лишь в режиме разомкнутого кольца. Достоинством защиты предохранителями является минимальная стоимость, простота и надежность конструкции, малые затраты на эксплуатацию. Существенным недостатком следует считать необходимость ручной (неавтоматической) замены сгоревших вставок. Это может привести к ошибкам персонала, а также требует значительного времени для замены вставок.

Защита выключателями АП50-МТ и АВМ4С более сложная и дорогая, чем защита предохранителями. В защите кабелей и батареи получены недопустимо большие токи срабатывания отсечек — их чувствительность недостаточна. Времена отключения КЗ предохранителя-

гнитов включения с автоматическими выключателями АЗ700

Выключатель кабеля					Выключатель батареи				
Ток, А	Зависимый расцепитель $I_{с.р} = 250$ А		Независимый расцепитель $I_{с.р} = 500$ А		Ток, А	Зависимый расцепитель $I_{с.р} = 320$ А		Независимый расцепитель $I_{с.р} = 800$ А	
	k_q	$t, с$	k_q	$t, с$		k_q	$t, с$	k_q	$t, с$
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
870	2,98	7—30	1,74	0,1	870	2,72	8—50	1,08	0,25
730	2,92	8—40	1,46	0,1	730	2,28	15—60	0,91	—
640	2,56	10—50	1,28	0,1	1280	4	3—30	1,6	0,25
2060	8,25	0,5	4,12	0,1	2060	6,45	7—10	2,58	0,25
1090	4,35	2,5—8	2,19	0,1	1090	3,4	15—70	1,36	0,25

ми и зависимыми расцепителями при разомкнутом кольце соизмеримы, а при замкнутом кольце времена отключения КЗ слишком велики. В ряде случаев не обеспечивается селективность смежных защит.

Защита выключателями АЗ700 наиболее дорогая и сложная, эксплуатация и наладка этих выключателей требуют высокой квалификации персонала. Чувствительность отсечек, селективность и времена отключения зависимыми расцепителями во всех случаях удовлетворительны.

Поэтому следует считать, что в настоящее время наиболее прогрессивными автоматическими выключателями для защиты оперативных цепей являются выключатели серии АЗ700.

При выборе вариантов следовало бы учитывать экономические показатели: стоимость аппаратов защиты и их монтажа, стоимость эксплуатации. Из-за отсутствия статистических данных о неправильной работе и отказах, а также из-за разброса времен отключения нельзя с достаточной точностью выбрать вариант защиты по экономическим показателям.

Пример 7. Рассчитать защиту кольца питания панелей защиты и автоматики по рис. 5 автоматическими выключателями с учетом расчетов токов КЗ по примеру 2.

Решение. Расчет следует начать с защиты 1 кабелей от панелей защиты до привода. Рассматривается прежде всего возможность использования наиболее простых и дешевых выключателей АП50-МТ. По максимальной нагрузке 6,5 А (см. пример 4) выбирается тепловой расцепитель на номинальный ток 6,4—10 А. Ток КЗ на шинах панелей 890 А, что менее тока 1500 А, отключаемого этим выключателем. При наименьшей кратности отсечки для этого выключателя 3,5 (с учетом разброса 3—4) ток срабатывания отсечки $I_{с, р(н)1} = 19,2 \div 25,6$ А для расцепителя с номинальным током 6,4 А и 30—40 А для расцепителя с номинальным током 10 А. Чувствительность отсечки при КЗ в приводе в режиме разомкнутого кольца

$$k_q = \frac{I_K}{I_{с, р(н)1}} = \frac{85}{4(6,4 \div 10)} = 3,33 \div 2,15,$$

что более допустимого значения 1,5.

Для защиты этих кабелей может быть использован и выключатель АЗ710С с расцепителем РПЗ11Б с номинальным током срабатывания зависимого расцепителя 20 А (минимальный возможный ток) и двукратной отсечкой на независимом расцепителе $I_{с, р(н)} =$

$= 40$ А. Однако применение этого выключателя нецелесообразно, так как велики его номинальные токи (160 А) и значительна стоимость.

Далее рассчитывается защита 2 кабелей, питающих сборку. Выключатели АП50-МТ использовать нельзя, так как их мгновенный расцепитель нельзя отстроить по времени от защиты 1. Выключатели АВМ4С не удастся использовать, так как весьма значительны токи срабатывания их расцепителей. Поэтому принимаются выключатели АЗ700. Выбор типа этого выключателя и расцепителя определяется параметрами отсечки (независимого расцепителя), выбираемыми по ряду условий.

Ток срабатывания $I_{с, р(н)2}$ отстраивается от тока срабатывания независимых расцепителей защиты 1 по (10)

$$I_{с, р(н)2} = \frac{1,1 \cdot 1,15 \cdot 3,5(6,4 \div 10)}{1 - 0,1} = 31,4 - 49 \text{ А.}$$

Ток срабатывания $I_{с, р(н)2}$ отстраивается от максимального тока нагрузки в оперативных цепях $I_{нг} = 50$ А при КЗ в первичной сети (на шинах) и работе дифференциальной защиты шин по (9)

$$I_{с, р(н)2} = \frac{1,1 \cdot 1,1 \cdot 50}{0,9} = 68 \text{ А.}$$

Учет этого условия необходим, так как время срабатывания независимого расцепителя 0,1 с, а нового выключателя МКП-110М 0,08 с (до гашения дуги), т. е. эти времена практически одинаковы. Если ток срабатывания независимого расцепителя не будет отстроен от тока нагрузки, то возможно отключение оперативного тока раньше, чем закончится отключение выключателей МКП-110М.

Независимый расцепитель должен иметь коэффициент чувствительности $k_q \geq 1,5$ при КЗ в конце кабеля, отсоединенного от щита (см. рис. 6, д), с учетом этого

$$I_{с, р(н)2} = \frac{550}{1,5} = 367 \text{ А.}$$

Желательно обеспечить чувствительность и при работе защиты как резервной при отказе выключателя на кабеле, идущем в привод (см. рис. 6, е); по этому условию $I_{с, р(н)2} = \frac{85}{1,2} = 71 \text{ А.}$

Однако следует выбрать выключатель АЗ730 с расцепителем РПЗ34С, током срабатывания зависимого расцепителя 160 А и независимого 320 А.

Выключатели АЗ710С не могут быть использованы, так как их отсечка работает без выдержки времени. Выдержка времени отсечки принимается 0,1—0,25 с, а зависимого расцепителя—4 с при пятикратном токе.

Следует отметить, что вынужденно приняты расцепители на

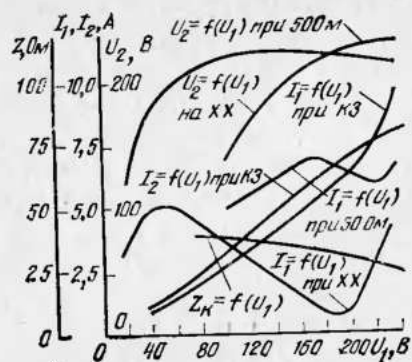


Рис. 14. Основные характеристики стабилизатора С-0,9.

Значение сопротивления R в опыте определяется по номинальному стабилизированному напряжению и току (см. приложение 12). Результаты испытания одного из стабилизаторов типа С-0,9 даны на рис. 14.

Следует учитывать, что за счет допусков при изготовлении стабилизаторов характеристики однотипных стабилизаторов могут значительно различаться, поэтому при наладке необходимо провести испытания каждого стабилизатора и по результатам испытаний уточнить расчеты токов КЗ и уставки аппаратов защиты.

Если аппаратура, питающаяся от стабилизаторов, требует правильного синусоидального напряжения или нагрузка велика, то применяются стабилизаторы С-1, 7С и С-3С. Эти стабилизаторы имеют фильтры высших гармоник, третьей и пятой, и их выходное напряжение достаточно близко к синусоидальному. Испытания этих стабилизаторов производятся так же, как стабилизаторов С-0,9 (см. приложение 12).

Пример 8. Рассчитать защиту в цепях стабилизаторов по рис. 12. Расчету подлежат защиты на выключателях АВ, АВ11 (АВ10) и АВ8 (АВ9).

Решение. Расчет следует начинать с наиболее удаленной защиты — выключателей АВ, установленных в ячейках КРУН для защиты вторичных цепей данной ячейки.

Для определения тока КЗ в общем случае нужно учитывать сопротивление проводов от выключателей АВ10 и АВ11 до рассматриваемой ячейки. Длина ряда КРУН невелика, сопротивление этих проводов по сравнению с сопротивлением стабилизаторов незначительно и для упрощения вычислений в данном примере не учитыва-

значительные неопределенные ошибки. Пользуясь выключателями 1В, 2В, 3В, собирают поочередно три основные схемы испытания: на холостом ходу, в режиме КЗ и в режиме номинальной нагрузки, создаваемой реостатом R . Входное напряжение регулируется автотрансформатором АТ. Нагрузка принята активная, на которую и работают стабилизаторы. Зна-

ется. В действительности же при наладке необходимо измерить сопротивление проводов от выключателя АВ10 до самой дальней ячейки КРУН и при необходимости уточнить расчеты. Сопротивление стабилизаторов и ток КЗ определяются по результатам их испытаний (см. рис. 13 и 14). Ток КЗ принимается при номинальном напряжении питания 220 В. Однако нагрузка трансформаторов собственных нужд (особенно летом) невелика и их вторичное напряжение обычно значительно выше номинального 220 В и доходит до 240—250 В. При таком напряжении ток КЗ стабилизаторов увеличивается и компенсирует неучет сопротивления вторичных цепей от стабилизаторов до крайней ячейки. В данном примере принимается ток $I_k = 7,5$ А, а для двух параллельно включенных стабилизаторов ток I_k равен 15 А (см. рис. 14).

Прежде всего рассматривается выключатель АВ, для которого предполагается использовать выключатель АП50-2МТ. Его тепловой расцепитель не предполагается использовать для защиты от длительного прохождения номинального тока. Поэтому ток срабатывания выбирается больше номинального тока. Расположенные в ячейках электромагниты управления пружинными приводами ПП-67, ВМП-10 имеют номинальный ток 1,8—2,3 А; электродвигатель для завода пружины привода ПП-67 имеет номинальный ток около 2 А, электромагнит завода пружин привода ВМП-10П 4,5 А.

Если ток срабатывания отстроить от большего из этих токов, то следует выбрать тепловой расцепитель на ток 6,4 А. При использовании 3,5-кратной отсечки ее ток срабатывания с учетом разброса будет равен: $I_{с.р(н)} = 6,4(3 \div 4) = 19,2 \div 25,6$ А. При этом чувствительность отсечки $k_{ч} = \frac{15}{19,2 \div 2,56} < 1$. Поэтому далее предполагается проводить отстройку либо по току, либо по времени.

Учитывая, что тепловые расцепители практически срабатывают при 1,3 номинального тока, выбирают тепловой расцепитель на 2,5 А. Для исключения срабатывания этого расцепителя при заводе пружины привода ВМП-10П рассчитываются соответствующие времена. При кратности $k = 4,5/2,5 = 1,8$ тепловой расцепитель срабатывает за время не менее 50 с (см. приложение 7).

Время завода пружин приводов ПП-76 и ВМП-10П составляет около 30 с при номинальном напряжении и доходит до 60 с при 0,8 номинального напряжения. Но так как питание производится от стабилизаторов, то напряжение близко к номинальному.

При КЗ в первичной сети вблизи шин подстанции стабилизаторы не поддерживают напряжение близким к номинальному. Но эти КЗ отключаются со временем, много меньшим времени завода пружин, поэтому можно принять за расчетное время 30 с, и отстройка теплового расцепителя по времени обеспечивается.

Ток срабатывания 3,5-кратной отсечки с учетом ее разброса составит $I_{с,р(н)1}=2,5 (3\div 4)=7,5\div 10$ А, а чувствительность $k_q=$

$$= \frac{15}{7,5 \div 10} = 1,5\div 2,0.$$

От номинальных токов отсечка отстроена с коэффициентом запаса $k_a = \frac{7,5 \div 10}{4,5} = 1,7\div 2,2$, что достаточно.

Следует отметить, что при ремонтных и наладочных работах, когда выключатель включается почти без промежутков много раз подряд, возможно срабатывание теплового расцепителя АВ (его расцепитель не успевает остывать за время промежутков между включениями). Однако это не служит основанием для загробления защиты.

В типовом проекте использован рассчитанный в примере выключатель с принятыми токами срабатывания.

Следующим в направлении к источнику питания является выключатель АВ11, для которого также предполагается использовать АП50-2МТ. Однако в выключателе АВ11 типа АП50-2МТ нельзя использовать отсечку, так как по времени ее невозможно отстроить от отсечки на выключателе АВ. Поэтому она должна быть выведена из работы. Наиболее просто это можно осуществить, выбрав ее ток срабатывания большим максимального тока КЗ на вторичной стороне стабилизатора, что при 240 В составляет 8 А:

$$I_{с,р(н)2} \geq \frac{k_a I_{к, max}}{1 - k_{п}};$$

$$I_{с,р(н)2} = \frac{(1,1 \div 1,2) 2 \cdot 8}{1 - 0,15} = 20,6 \div 22,6 \text{ А.}$$

Так как отсечка выведена, то защитой от КЗ является тепловой расцепитель. Для выбора теплового расцепителя нужно определить максимальный ток нагрузки $I_{нг, max}$. Этот ток определяется в режиме АПВ после АЧР, когда одновременно заводятся пружины всех выключателей, включившихся от АПВ. В данном случае максимальный ток нагрузки может быть определен по номинальному току двух параллельно работающих стабилизаторов. Согласно приложению П12 этот ток равен $2 \cdot 4,1 = 8,2$ А. При таком токе от АПВ можно включить четыре выключателя с приводом ПП-67 (2 А) или два — с приводом ВПМ-10П (4,5 А). Рассматривается возможность выбора расцепителя на ближайший больший ток срабатывания 10 А.

При кратности $K=15/10=1,5$ время срабатывания составляет 100—500 с, что недопустимо велико, так как может привести к повреждению стабилизатора при КЗ. Поэтому выбирается следую-

щий по шкале тепловой расцепитель на ток 6,4 А, что меньше номинального 8,2 А. Кратность $K=15/6,4=2,35$, время срабатывания 15—70 с.

В заводской информации на стабилизаторы нет данных о допустимых перегрузке и времени отключения КЗ. Полученное время 15—70 с обычно применяется в типовых проектах. Опыт эксплуатации с полученными временами показал, что повреждений при КЗ не наблюдалось.

Проводка цепей ШУ между ячейками и по ячейкам, провода на панелях и в приводах согласно ПУЭ должны иметь сечение не менее 1,5 мм² для медных и 2,5 мм² для алюминиевых приводов. Ток 15 А эти проводки выдерживают длительно, поэтому полученное время отключения КЗ для них не представляет опасности.

Ток срабатывания зависимых расцепителей не отстроен от номинального тока, поэтому следует произвести отстройку по времени. При расчетном токе кратность $K = \frac{8,2}{6,4} = 1,28$ и время срабатывания не менее 100 с, что существенно превышает 30 с — время, необходимое для завода пружины.

Чувствительность зависимого расцепителя при КЗ на шинах $k_q = 15/6,4 = 2,35$, что менее требуемого по ПУЭ [2].

Выбор зависимый расцепитель на меньший ток (для повышения k_q) не представляется возможным. Действительно, при $I_{с,р(н)2} = 4,0$ А при номинальном токе нагрузки кратность $K = 8,2/4 = 2,1$, а время срабатывания 20—90 с. Поэтому расцепитель может сработать при заводе пружин. В типовом проекте принят вариант со сниженным значением коэффициента чувствительности.

Нагрузка выключателя АВ10 существенно меньше, так как определяется лишь цепями сигнализации. Расчет параметров защиты выполняется аналогично. В типовом проекте принят выключатель АП50-2МТ на 4 А с 3,5-кратной отсечкой.

Расчет выключателей АВ8, АВ9 производится с учетом мощности трансформатора собственных нужд, так как сопротивление этих трансформаторов определяет ток КЗ на шинах. При мощности трансформатора 63 кВ·А ток трехфазного и двухфазного КЗ на шинах доходит до 3500 и 3000 А соответственно. Как будет показано ниже, для выключателя АВ8 необходимо выбрать зависимый расцепитель на ток не менее 10 А. Соответствующий выключатель АП50-2МТ отключает токи не более 1500 А. Следовательно, КЗ в точке К1 (см. рис. 12) выключатели АП50-2МТ отключать не могут. Однако в типовом проекте для АВ8 и АВ9 приняты именно эти выключатели, что в общем случае является неудовлетворительным.

В ряде случаев токи КЗ на шинах за счет дополнительных

сопротивлений оказываются менее указанными, что и определяет имеющийся удовлетворительный опыт эксплуатации.

Далее рассматривается расчет защиты на АВ8, выполненный на выключателях АП50-МТ.

Тепловой расцепитель выбирается с учетом длительной нагрузки. Эта нагрузка определяется: двумя стабилизаторами С-0,9 с током 14 А при 240 В; удерживающими обмотками пускателей ПА1 и ПА2, включенными в схему АВР с токами 0,5 А при втянутом состоянии; промежуточными реле в схеме АВР с токами, много меньшими указанных. По опытным данным суммарная длительная нагрузка не превышает 14,5 А.

При выборе тока срабатывания теплового расцепителя 16 А он практически не срабатывает при КЗ на вторичной стороне стабилизаторов (ток КЗ 15 А), поэтому следует выбрать расцепитель на меньший ток, проведя необходимую отстройку по времени. При выборе расцепителя на 10 А и токе длительной нагрузки кратность $K=14,5/10=1,45$, а время срабатывания составляет не менее 80 с, что обеспечивает надежную отстройку от времени завода пружин в 30 с. Однако при КЗ на вторичной стороне стабилизаторов этот расцепитель работает с кратностью $K=15/10=1,5$ и временем 80 с и более. Выбрать расцепитель на меньший ток нельзя, так как он будет неселективен с защитой на выключателе АВ11. Следовательно, нужно признать, что селективность защит обеспечена за счет весьма значительных времен отключения при КЗ в некоторых точках.

Так как на выключателях АВ11 и АВ10 отсечки выведены, то ток срабатывания отсечки АВ8 необходимо прежде всего отстроить от тока срабатывания отсечки АВ11

$$I_{с, р(н)3} = \frac{(1,1 + 1,2) (1 + 0,15)}{1 - 0,15} (19,2 \div 25,6) = 23,2 \div 30,8 \text{ А.}$$

Однако при КЗ на вторичной стороне стабилизаторов ток с первичной стороны не превышает 10 А, поэтому достаточно отстроить отсечку от этого тока

$$I_{с, р(н)3} = \frac{1,2}{1 - 0,15} 2 \cdot 10 = 28 \text{ А.}$$

Ток срабатывания отсечки должен быть отстроен также от тока в момент включения выключателей, являющегося суммой токов стабилизаторов и пускателя (около 20 А)

$$I_{с, р(н)3} = \frac{1,2}{1 - 0,15} 20 = 28 \text{ А.}$$

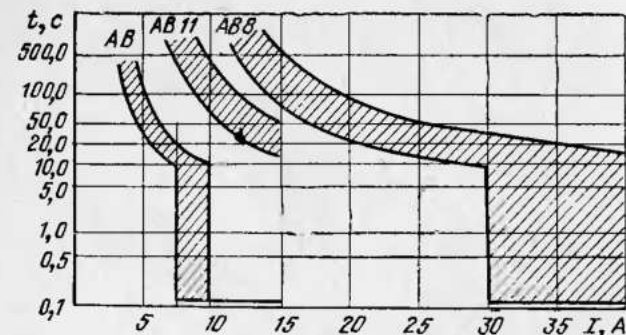


Рис. 15. Согласование характеристик выключателей АП50-2МТ для защиты ШОП.

По этим условиям может быть выбрана 3,5-кратная отсечка с током срабатывания $10 (3 \div 4) = 30 \div 40 \text{ А.}$

В типовом проекте принята отсечка с кратностью 11, что нельзя признать целесообразным.

Защитные характеристики и согласование расцепителей на выключателях АВ, АВ11, АВ8 приведены на рис. 15. Как видно, защиты выполнены селективными, но времена отключения КЗ значительны.

Выключатели типа АЗ700 в данном примере применить не удастся, так как минимальный ток его зависимого расцепителя равен 15 А, т. е. он вообще не будет срабатывать при КЗ на вторичной стороне стабилизатора.

Защита цепей БПРУ. Для питания выключателей с электромагнитными приводами в КТП устанавливается комплектное устройство БПРУ, состоящее из мощного кремниевого выпрямителя и распределительного устройства выпрямленного тока. При напряжении собственных нужд 220 В применяется БПРУ-66/220.

Схема его дана на рис. 16, обозначения сохранены заводские, а основные данные указаны в приложении 12. Источники питания (рабочий и резервный) подключаются к выводам 1—3 и 4—6. Переключателем П1 включается рабочий или резервный источник. Для защиты от КЗ служит автоматический выключатель АВ типа АП50-3МТ с номинальным током теплового расцепителя 50 А и 11-кратной отсечкой. Выпрямитель собран по трехфазной двухполупериодной схеме на диодах Д1—Д6 типа ВК2-200-5АВ. При номинальном напряжении питания 220 В на холостом ходу выпрямленное напряжение

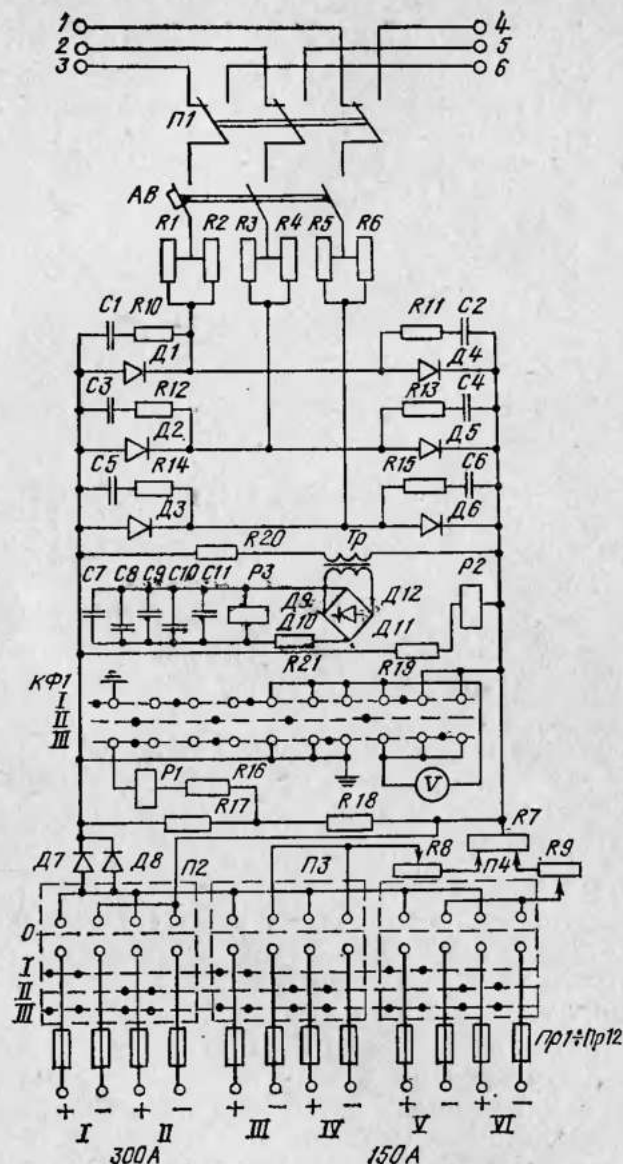


Рис. 16. Схема БПРУ-66/220.

составляет 296 В. Допустимое колебание напряжения питания $\pm 10\%$. Резисторы $R10-R15$ и конденсаторы $C1-C6$ защищают диоды от пробоя при перенапряжениях, возникающих в процессе выпрямления. При обрыве

одной фазы питания выпрямленное напряжение снижается незначительно, но за счет резкого ухудшения формы кривой выпрямленного напряжения не обеспечивается включение выключателя. Поэтому применена защита от неполнофазного режима. Переменная составляющая выпрямленного напряжения выделяется трансформатором Tr и выпрямляется мостиком из диодов $D9-D12$. Конденсаторы $C7-C11$ предотвращают вибрацию реле $P3$, резисторы $R20, R21$ обеспечивают его термическую стойкость. В нормальном режиме переменная составляющая незначительна, в неполнофазном режиме резко увеличивается, реле $P3$ срабатывает и подает сигнал. Реле $P2$ и резистор $R19$ контролируют наличие выпрямленного напряжения и с небольшой выдержкой времени подают сигнал о его исчезновении. Резисторы $R16-R18$ и реле $P1$ являются обычной схемой контроля изоляции цепей выпрямленного напряжения. Чувствительность контроля около 40 кОм. Ключ $KФ1$ и вольтметр V служат для измерения выходного напряжения и напряжения относительно земли при измерении сопротивления изоляции.

Реле $P1-P3$ включают сигнальные реле, указывающие вид повреждения, зажигают сигнальную лампу и подают сигнал в общую схему сигнализации. Свободные контакты реле и вспомогательные контакты выключателя AB могут использоваться в других схемах.

Диоды $D7, D8$ предотвращают при параллельной работе двух выпрямителей питание КЗ в одном выпрямителе от другого: поврежденный выпрямитель отключается своим выключателем, а другой остается в работе.

Распределительное устройство выпрямленного тока состоит из переключателей $P2-P4$ и предохранителей $Pr1-Pr12$ и позволяет выполнить три кольца питания электромагнитов включения.

Резисторы $R1-R9$ типа ПС-10-33 по 0,7 Ом обеспечивают номинальное напряжение 220 В на нагрузке при токе нагрузки от 55 до 300 А с промежуточным значением 150 А (за счет падения напряжения в них). Завод-изготовитель рекомендует определять значение сопротивления этих резисторов при раздельной работе всех выводов по следующим уравнениям:

$$R_{300} = \frac{U_x - U_{II} - I_{300} R_{II}}{2I_{300}} - R_{\Phi} - 0,5X_{\sigma}; \quad (11)$$

$$R_{150} = \frac{U_x - U_{II} - I_{150} R_{II}}{I_{150}} - 2(R_{300} + R_{\Phi}) - X_c. \quad (12)$$

При параллельной работе выходов III—V или IV—VI на общую нагрузку.

$$R_{150} = \frac{U_x - U_{II} - I_{150} R_{II}}{I_{150}} - 4(R_{300} + R_{\Phi}) - 2X_c. \quad (13)$$

В этих уравнениях R_{300} — сопротивление каждой пары резисторов $R1—R6$ при их параллельном включении; R_{150} — сумма сопротивлений резисторов $R7$ и $R8$ или $R7$ и $R9$; R_{Φ} — сопротивление фазы питающей БПРУ линии от трансформатора собственных нужд; R_{II} — сопротивление кабеля от БПРУ до привода; X_c — сопротивление фазы трансформатора собственных нужд; I_{300} и I_{150} — ток нагрузки 300 или 150 А; U_x — номинальное напряжение холостого хода выпрямителя 296 В; U_{II} — требуемое напряжение на приводе.

Для ограничения тока КЗ сопротивление $R_{\Phi} + R_{300} + 0,5 X_c$ должно быть не менее 0,11 Ом.

По уравнениям (11)—(13) для каждого частного случая по длине и сечению проводов от БПРУ до привода и трансформатора собственных нужд и данным трансформатора определяются сопротивления резисторов с обязательной проверкой напряжения на приводах при наладке. По этим же сопротивлениям определяются и токи КЗ на выпрямленном напряжении. Максимальный ток КЗ будет, когда сопротивление одной фазы будет 0,11 Ом. В этом случае со стороны переменного тока $I_k = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 0,11} = 1150$ А, а со стороны выпрямленного тока до резисторов $R7—R9$ $I_k = 1150/0,82 = 1400$ А при сопротивлении диодов $D1—D6$, равном нулю; 0,82 — коэффициент пересчета с выпрямленного на переменный ток.

Ток КЗ на выводах «300 А» и «55—150 А» можно найти следующим образом. При $R_{II} = 0$ напряжение 220 В будет на этих выводах. Падение напряжения на сопротивлениях резисторов $R1—R9$ будет во всех случаях равно разности напряжения при холостом ходе (ХХ) и номинального. В данном случае это составит $296 - 220 = 76$ В. Сопротивление, приведенное к выводу «300 А», будет $76/300 = 0,252$ Ом и ток КЗ $296/0,252 =$

$= 1170$ А. Сопротивление при токе 150 А будет $\frac{76}{150} = 0,505$ Ом и ток КЗ $I_k = \frac{296}{0,505} = 585$ А. При токе 55 А сопротивление будет $\frac{76}{55} = 1,38$ Ом и ток КЗ $I_k = \frac{296}{1,38} = 212$ А. Соответственно на стороне переменного тока токи КЗ будут $0,82 \cdot 1170 = 960$ А; $0,82 \cdot 585 = 480$ А и $0,82 \cdot 212 = 173$ А.

Расчеты эти приблизительные. Поэтому при наладке после установки значений резисторов $R1—R9$ и проверки напряжения на приводах следует опытным путем по рис. 17 определить действительные токи КЗ. Испытание следует вести на пониженном напряжении питания, минимально возможном для точного отсчета по приборам, а затем значения токов пересчитать для номинального напряжения прямо пропорционально напряжениям (это возможно, так как БПРУ состоит из активных сопротивлений). В схеме на рис. 17 автотрансформаторами АТ устанавливается симметричное пониженное напряжение, контролируемое по вольтметрам V. Токи отсчитываются по амперметрам А. Закоротку желательно устанавливать около приводов, питание подключать у точки подключения БПРУ к шинам собственных нужд, чтобы учесть сопротивление проводки от БПРУ до шин и приводов. По результатам испытаний проверяются расчеты токов КЗ и селективность аппаратов защиты.

При расчете защиты цепей БПРУ должны быть согласованы защиты приводов выключателей, питающихся от БПРУ, на стороне выпрямленного напряжения БПРУ, на стороне переменного напряжения БПРУ.

От выводов «300 А» могут питаться приводы с током 244—250 А. Для их защиты используются обычно пре-

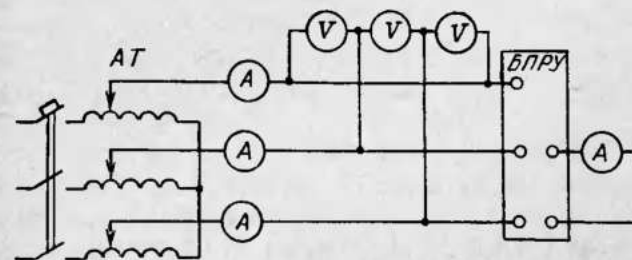


Рис. 17. Схема испытаний БПРУ-66/220.

дохранители типа ПН2 с вставкой 80 А. При КЗ на этом присоединении с рассчитанным выше током 1170 А вставка перегорает с учетом разброса в течение 0,02—0,03 с.

От выводов «150 А» могут питаться приводы выключателей с током 148—155 А и вставками ПН2 50—60 А. Время перегорания этих вставок при токе 585 А около 0,06—0,08 с (с учетом разброса).

На стороне выпрямленного напряжения применены предохранители типа ПНБ5-380/250 со вставкой 160 А на выводах «300 А» и ПНБ5-380/100 со вставкой 100 А на выводах «150 А».

Характеристики этих предохранителей даны в приложении 14.

Применение специальных предохранителей вызвано тем, что кремниевые выпрямители не допускают перегрузки и длительного прохождения тока КЗ. Заменять предохранители типа ПНБ5 предохранителями других типов нельзя. Особенностью этих предохранителей является их быстродействие. При токе 1,5 номинального вставка не перегорает в течение 2 ч и плавится за время не более 10 мин при токе 2,3 номинального. При КЗ на выводах «300 А» с током 1170 А вставки 160 А перегорает за время от 0,2 до 0,01 с. При КЗ на выводах «150 А» с током 585 А время перегорания вставки 100 А колеблется от 0,01 до 0,2 с за счет большого разброса характеристик. Следовательно, селективность предохранителей, защищающих цепи приводов и установленных на стороне выпрямленного напряжения БПРУ, не обеспечивается.

На стороне переменного напряжения БПРУ в качестве АВ установлены выключатели АП50-3МТ с расцепителем на ток 50 А и 11-кратной отсечкой с током срабатывания 400—700 А. От максимального тока нагрузки БПРУ, равного 300 А, отсечка отстроена с коэффициентом запаса $k_a = \frac{400 + 700}{0,82 \cdot 300} = 1,63 \div 2,85$, что удовлетворяет требованиям.

Однако эта отсечка со временем, близким к нулю, может срабатывать и при КЗ на стороне выпрямленного напряжения с коэффициентами чувствительности на выводах «300 А» $k_q = \frac{960}{400 + 700} = 2,4 \div 1,38$; на выводах

«150 А» $k_q = \frac{480}{400 + 700} = 1,2 \div 0,69$. Лишь при КЗ на вы-

водах «55 А» $k_q = \frac{173}{400 + 700} = 0,43 \div 0,25$ и отсечка не срабатывает.

Следовательно, и защита АВ неселективна с защитой предохранителями ПНБ5. Это может привести, например, при КЗ в приводе к полному отключению БПРУ. Такая неселективная работа защиты не приводит к каким-либо серьезным последствиям, однако существенно усложняет работу персонала и затрудняет выявление поврежденного элемента.

Особо следует отметить, что все приведенные расчеты являются приближенными. Поэтому при наладке следует опытным путем уточнить значение токов КЗ и по ним проверить селективность.

При напряжении собственных нужд 380 В вместо БПРУ-66/220 применяется БПРУ-66/380, в котором в отличие от БПРУ-66/220 другая схема выпрямления (трехфазная однополупериодная) и отсутствует контроль изоляции. Отрицательным полюсом выпрямленного напряжения является заземленный нуль сети 380 В, что является серьезным недостатком БПРУ-66/380, так как имеется повышенная опасность при обслуживании. Кроме того, за счет худшей формы кривой выпрямленного тока снижается надежность включения выключателя.

Защита вторичных цепей трансформатора собственных нужд. В рассматриваемом типовом проекте в качестве АВ1 используется выключатель типа АЗ134, а в качестве АВ3—АВ7 — выключатели типа АП50-2МТ (см. рис. 12).

Для защиты на выключателях АВ3—АВ7 выбраны тепловые расцепители на ток менее 40—50 А. Максимальный ток, отключаемый этими выключателями, составляет 1500—2000 А. Как выше указывалось, при мощности трансформатора собственных нужд 63 кВ·А ток КЗ в точке КЗ равен 3000—3500 А и не может быть отключен АВ3. Это является серьезным недостатком рассматриваемого проекта.

В какой-то степени повреждение АВ3 при этом КЗ предотвращается одновременной работой выключателя АВ1, который может отключать ток КЗ до 17 000 А (амплитудное значение).

При номинальном токе трансформатора собственных нужд 158 А (что соответствует мощности 63 кВ·А) выбран тепловой расцепитель на 150 А, а ток срабатывания отсечки составляет 900—1200 А, поэтому при КЗ в точке КЗ коэффициент чувствительности отсечки *АВ1* достаточен:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3000}{900 \div 1200} = 2,5 \div 3,3.$$

Отсечка этого выключателя также должна быть отстроена от максимального тока срабатывания отсечек присоединений к шинам 220 В. Обычно максимальный ток срабатывания имеет выключатель АП50, защищающий БПРУ. Отстройка от этого тока $900/700=1,3$, что достаточно.

5. ЗАЩИТА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ

Типовые схемы включения трансформаторов напряжения и расстановка аппаратов защиты их вторичных цепей от КЗ подробно изложены в [6, 7] и здесь не рассматриваются.

Для расчета токов КЗ необходимо знать сопротивление трансформатора напряжения $Z_{\text{т}}$, приведенное к его вторичной обмотке:

$$Z_{\text{т}} = \frac{u_{\text{к}} \% U^2}{100 S}, \quad (14)$$

где $u_{\text{к}}$ — напряжение КЗ, указанное в приложении 14; U — номинальное вторичное напряжение трансформатора, В; S — мощность трансформатора напряжения, В·А.

При расчете тока КЗ допускаются упрощения: не учитывается активное сопротивление трансформатора и индуктивное сопротивление вторичных цепей. Предохранители и автоматические выключатели выбираются по следующим условиям:

а) по номинальному току отключения КЗ, как любой коммутационный аппарат;

б) по номинальному току вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя, который может выбираться двумя способами: по току действительной нагрузки или по току, соответствующему номинальной мощности группы трансформаторов в заданном классе точности. При обоих способах необходимо учи-

тывать возможность увеличения действительной нагрузки при резервировании данным трансформатором другого (например, при ремонте одной из систем шин на подстанциях с двумя системами шин и двумя трансформаторами напряжения все устройства релейной защиты и измерительные приборы включаются на один оставшийся в работе трансформатор).

Целесообразнее применять второй способ, так как при нем упрощаются вычисления и создается некоторый запас на возможное расширение подстанции и реконструкцию устройств релейной защиты и автоматики, вызывающие увеличение нагрузки;

в) по времени срабатывания. Для большинства трансформаторов напряжения 35 кВ и выше основной нагрузкой, определяющей требования к аппаратам их защиты, являются устройства релейной защиты, которые могут неправильно работать из-за повреждений питающих их цепей напряжения. Для таких трансформаторов напряжения основным требованием является быстрота отключения повреждения. Время срабатывания современных быстродействующих защит около 0,1—0,15 с. Поэтому для обеспечения работы блокировок, например, КРБ-11, КРБ-12 от повреждения цепей напряжения время отключения КЗ должно быть не более 0,02—0,03 с. Предохранители, как правило, этому требованию не удовлетворяют, и необходимо применять быстродействующие автоматические выключатели, обычно АП50. Кроме того, автоматические выключатели требуют меньше времени для повторного включения, чем предохранители для замены сгоревшей вставки, а их вспомогательные контакты обеспечивают простое и надежное выполнение сигнализации об отключении.

В цепях трансформаторов напряжения 6—10 кВ, питающих только счетчики и измерительные приборы, во многих случаях вполне допустима установка и предохранителей.

Далее приведен расчет защиты вторичных цепей трансформатора напряжения. В КРУН 6 кВ установлены два трансформатора напряжения типа НОМ-6, включенные по схеме открытого треугольника для питания счетчиков. От трансформаторов напряжения по ячейкам КРУН проложены медные шины сечением 2,5 мм², общей длиной 30 м. Рассчитать защиту вторичных цепей предохранителями по рис. 18, а.

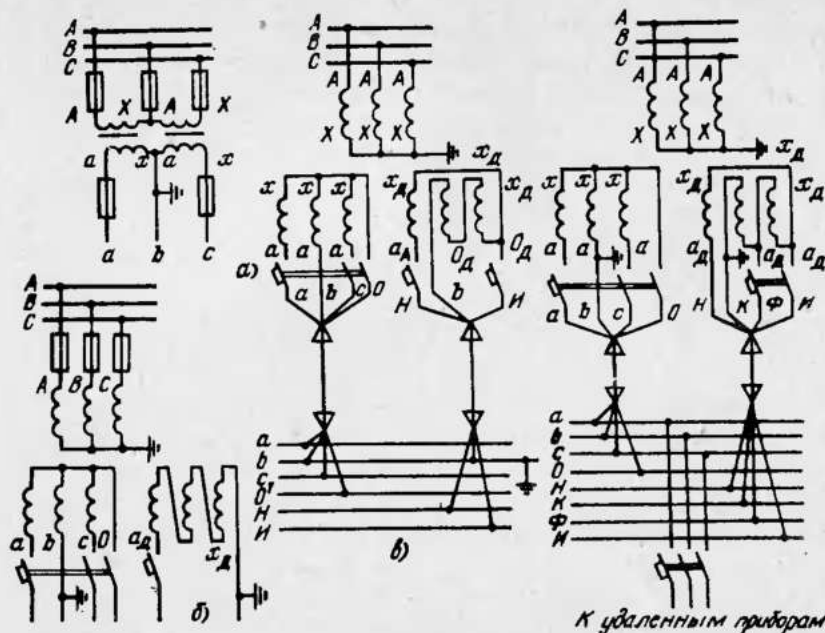


Рис. 18. Расстановка аппаратов защиты во вторичных цепях трансформаторов напряжения.

а и б — 6—10 кВ; в — 35 кВ; г — 110—750 кВ.

Максимальный ток КЗ у выводов трансформаторов для данной схемы включения обмоток определяется по уравнению

$$I_K^{(3)} = \frac{100}{Z_T}, \quad (15)$$

где 100 В — вторичное напряжение трансформатора НОМ-6.

По (14) сопротивление

$$Z_T = \frac{6,15 \cdot 100^2}{100 \cdot 400} = 1,53 \text{ Ом},$$

ток трехфазного КЗ на выводах по (15)

$$I_K^{(3)} = \frac{100}{1,53} = 65,3 \text{ А}.$$

Минимальный ток будет при двухфазном КЗ между фазами А и С (фаза В заземлена и аппараты защиты в ней не ставятся) и для данной схемы включения опреде-

ляется по уравнению

$$I_K^{(2)} = \frac{U_{\text{мф}}}{2 \sqrt{Z_T^2 + (\Sigma R)^2}}. \quad (16)$$

Сопротивление медного провода сечением 2,5 мм², длиной 30 м

$$R_{\text{л}} = \frac{30}{57 \cdot 2,5} = 0,21 \text{ Ом};$$

$$I_K^{(2)} = \frac{100}{\sqrt{1,53^2 + 0,21^2}} = 32 \text{ А}.$$

Максимальный ток нагрузки при мощности 50 В · А одного трансформатора в классе 0,5 $I_{\text{нр}} = \frac{50}{100} = 0,5 \text{ А}$.

По этим данным и приложению 1 выбирается предохранитель НПН-15 с номинальным током плавкой вставки 6 А. Время перегорания этой вставки при токе 32 А около 1 с, а чувствительность $k_{\text{ч}} = 32/6 = 5,3$, что вполне допустимо.

Если применить выключатель АП50-2МТ с номинальным током теплового расцепителя 2,5 А и 3,5-кратной отсечкой, то чувствительность отсечки будет $k_{\text{ч}} = \frac{32}{(3 \div 4) 2,5} = 4,3 \div 3,2$, что вполне удовлетворяет всем требованиям. Поэтому может быть принято любое из предложенных решений.

Пример 9. Трансформаторы напряжения НКФ-110-57 включены на каждую систему шин подстанции 110 кВ по схеме $U_0/U_0/Д$ и питают в основном релейную защиту, автоматику и обычные измерительные приборы класса точности 1. От выводов ТН до шкафа с аппаратурой защиты проложен медный кабель сечением $4 \times 10 \text{ мм}^2$, длиной 15 м, от шкафа до панели реле-повторителей (повторяют положение шинных разъединителей присоединений 110 кВ) проложены алюминиевые кабели сечением $3 \times 70 + 1 \times 35 \text{ мм}^2$ для основной обмотки и $4 \times 10 \text{ мм}^2$ для дополнительной, длина каждого кабеля 150 м.

От панели реле-повторителей до самой удаленной панели защиты проложен медный кабель сечением 2,5 мм², длиной 30 м (см. рис. 18, г). Рассчитать защиту вторичных цепей.

Решение. Трансформатор питает цепи релейной защиты и автоматики, поэтому основным требованием является быстрое отключение КЗ в любой точке вторичных цепей. Следовательно, для защиты вторичных цепей должны применяться автоматические выключатели. Для определения минимального номинального тока рас-

цепителей определяется максимальный ток трехфазного КЗ в шкафу ТН для схемы звезда по уравнению

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\text{мф}}}{\sqrt{3} \sqrt{Z_{\text{т}}^2 + (2R)^2}}, \quad (17)$$

где R — сопротивление одной жилы медного кабеля сечением 10 мм^2 и длиной 15 м от ТН до шкафа, $R = \frac{15}{57 \cdot 10} = 0,0253 \text{ Ом}$.

Сопротивление трансформатора для основной обмотки по (14)

$$Z_{\text{т}} = \frac{4,05 \left(\frac{100}{\sqrt{3}} \right)^2}{100 \cdot 2000} = 0,0675 \text{ Ом};$$

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{100}{\sqrt{3} \sqrt{0,0675^2 + (2 \cdot 0,0253)^2}} = 690 \text{ А}.$$

Сопротивление трансформатора для дополнительной обмотки по (14)

$$Z_{\text{т. д}} = \frac{3,87 \cdot 100^2}{100 \cdot 2000} = 0,193 \text{ Ом}.$$

Максимальный ток в цепях $H-\Phi$ при трехфазном КЗ в шкафу трансформатора напряжения определяется по (18)

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\text{мф}} \sqrt{3}}{\sqrt{Z_{\text{т}}^2 + (2R)^2}}; \quad (18)$$

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{100 \sqrt{3}}{\sqrt{0,193^2 + (2 \cdot 0,0253)^2}} = 865 \text{ А}.$$

По этим значениям максимального отключаемого тока КЗ (см. приложение 6) минимальный номинальный ток расцепителя АП50 должен быть не менее $6,4 \text{ А}$ для обеих обмоток.

Максимальный ток нагрузки в основной обмотке при классе точности $1,0$ и мощности $600 \text{ В} \cdot \text{А}$

$$I_{\text{н}} = \frac{600}{100/\sqrt{3}} = 10,5 \text{ А}.$$

В дополнительной обмотке в цепях $H-K$ защита не устанавливается, так как нормально в этой цепи ток и напряжение должны быть равны нулю, а при замыкании этих проводов между собой в любом режиме это приведет к созданию нормальной схемы полного треугольника.

Для обеих обмоток принимаются выключатели АП50 с номинальным током тепловых расцепителей 10 А и 3,5-кратной отсечкой.

Сопротивление фазной жилы алюминиевого кабеля с удельной проводимостью $34,5 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$ от шкафа до панели реле-повторителей $R_1 = \frac{150}{34,5 \cdot 70} = 0,062 \text{ Ом}$, сопротивление нулевой жилы кабеля сечением 35 мм^2 $R_2 = 0,124 \text{ Ом}$. Сопротивление медной жилы кабелей до панели релейной защиты $R_3 = \frac{30}{57 \cdot 2,5} = 0,21 \text{ Ом}$.

Для проверки чувствительности определяются минимальные токи КЗ. Ток однофазного КЗ на панели релейной защиты определяется по уравнению

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\text{мф}}}{\sqrt{3} \sqrt{Z_{\text{т}}^2 + (\Sigma R)^2}}, \quad (19)$$

где ΣR — сумма сопротивлений фазной и нулевой жил основного кабеля и двойного сопротивления жил от ТН до шкафа;

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{100}{\sqrt{3} \sqrt{0,0675^2 + (2 \cdot 0,0253 + 0,062 + 0,124 + 2 \cdot 0,21)^2}} = 90 \text{ А}.$$

Чувствительность отсечки $k_{\text{ч}} = \frac{90}{10(3 \div 4)} = 3 \div 2,23$, что удовлетво-

ряет требованиям.

В цепи разомкнутого треугольника сопротивление одной жилы кабеля от шкафа до панели реле-повторителей равно:

$$R_{\text{ч}} = \frac{150}{34,5 \cdot 10} = 0,435 \text{ Ом}.$$

Ток двухфазного КЗ на панели защиты между цепями $H-K$ или $H-\Phi$ определяется по уравнению

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{U_{\text{мф}}}{2 \sqrt{Z_{\text{т}}^2 + (\Sigma R)^2}}, \quad (20)$$

где ΣR — сумма всех сопротивлений кабелей одной фазы от ТН до панели.

Подставив числовые значения, имеем:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{100}{2 \sqrt{0,0253^2 + (0,0253 + 0,435 + 0,21)^2}} = 71,5 \text{ А}.$$

Чувствительность отсечки удовлетворяет требованиям $k_{\alpha} = \frac{71,5}{(3+4)10} = 2,38 > 1,5$.

Далеко не всегда чувствительность отсечки выключателя, установленного в шкафу трансформатора напряжения, удовлетворяет нормам. Обычно это получается при КЗ в конце длинных кабелей малого сечения, питающих удаленные панели релейной защиты или измерительных приборов.

В этих случаях возможно несколько решений. Если по длинным кабелям питаются устройства релейной защиты, неправильно работающие при повреждениях цепей напряжения, то следует уменьшить сопротивление этих кабелей путем увеличения их сечения или замены алюминиевых кабелей медными, чтобы обеспечить быстрое отключение повреждения.

Возможна и установка дополнительных выключателей на длинных кабелях (см. рис. 18, *г*) с минимальным номинальным током расцепителя и минимальным временем срабатывания. Если при КЗ в конце зоны действия отсечки этого выключателя напряжение не менее 0,9 номинального, то такие КЗ могут отключаться и тепловыми расцепителями с коэффициентом чувствительности не менее 5 по ПУЭ.

Некоторые особенности имеет расчет токов КЗ трансформаторов напряжения в сетях с изолированной нейтралью (обычно 6—35 кВ). Расчеты эти производятся для однофазного замыкания на землю в сети высшего напряжения, при котором работает лишь сигнализация, и для КЗ в сети низшего напряжения.

Для трехфазных трансформаторов напряжения, соединенных по схеме $Y_0/Y_0/\Delta^*$ (например, типа НТМИ) (рис. 18, *б*) максимальный ток КЗ основной обмотки будет при однофазном замыкании на землю в сети высшего напряжения и коротком замыкании вторичной обмотки.

В этом случае

$$I^{(1,1)} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{мф}}}{Z_T} \quad (21)$$

Минимальный ток определяется по (19).

Для трех однофазных трансформаторов напряжения, соединенных по такой же схеме (см. рис. 18, *в* и *г*) мак-

симальный ток в цепи *И* будет при однофазном замыкании на землю в сети высшего напряжения и КЗ между выводами *И—К*

$$I_K^{(2)} = \frac{U_{\text{мф}}}{2 \sqrt{(3Z_T)^2 + (2R)^2}} \quad (22)$$

В цепи $3U_0$ максимальный ток КЗ будет при однофазном замыкании на землю в сети высшего напряжения

$$I_K^{(2)} = \frac{U_{\text{мф}}}{\sqrt{(3Z_T)^2 + (2R)^2}} \quad (23)$$

Минимальный ток КЗ для этой схемы будет при КЗ между выводами *И—К* или *Н—Ф*

$$I_K^{(2)} = \frac{U_{\text{мф}}}{2 \sqrt{Z_T^2 + R^2}} \quad (24)$$

Для трансформаторов напряжения типа НДЕ действительный ток КЗ из-за насыщения реактора будет значительно меньше расчетного.

Следует особо отметить, что при наладке обязательно проверяются опытным путем все расчеты токов КЗ, особенно для трансформаторов НДЕ.

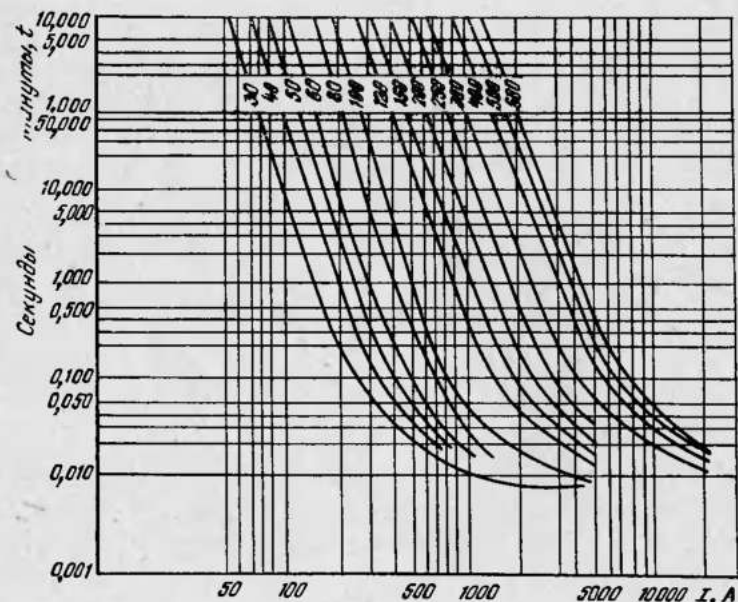
* Разомкнутый треугольник.

Приложение 1. Предохранители

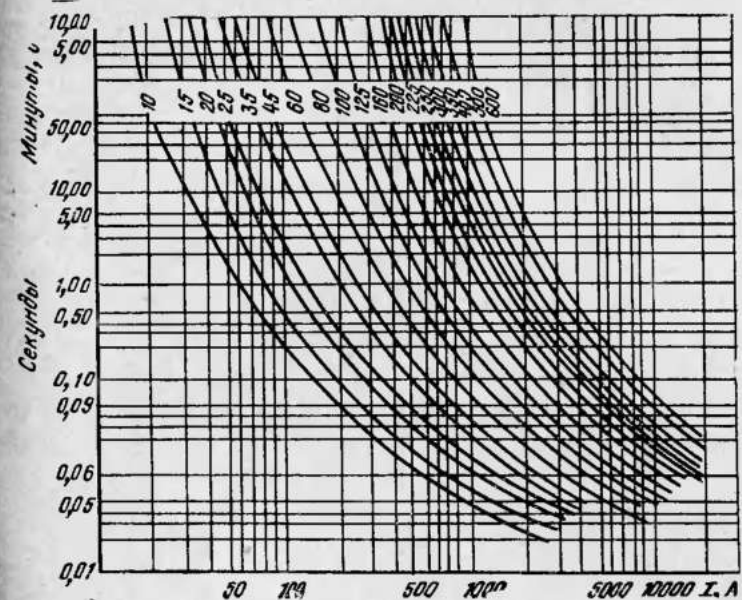
Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток предохранителей, А	Номинальный ток вставки, А	Номинальный ток отключения, А	Кратность одночасового плавления
ПН2	500	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	50 000	1,3—1,6
		250	80, 100, 120, 150, 200, 250	40 000	
		400	200, 250, 300, 350, 400	25 000	
		600	300, 400, 500, 600	25 000	
		1000	500, 600, 750, 800, 1000	10 000*	
НПН-15	500	15	6, 10, 15	10 000	1,5—2,1
НПН-60	500	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	10 000	1,3—1,6

* При 380 В.

Приложение 2. Защитные характеристики предохранителей ПН2



Приложение 3. Защитные характеристики предохранителей НПН и НПР



Приложение 4. Выключатели с электромагнитным приводом

Тип	Привод		Время включения выключателя, с	Время отключения выключателя, с
	Тип	Ток включения, А, при 220 В	Ток отключения, А, при 220 В	
ВМГ-100-1000-20	ПЭ-11	58	1,4	0,2—0,3
МГГ-10-2000-3000/500	ПЭ-2	73	2,5	0,35
МГГ-10-300-5000/750	ПЭ-21	148	2,5	0,4
МГГ-10-5000/63К	ПЭ-21А	250	2,5	0,4
ВМП-10-630-1500/20	ПЭ-11	58	1,25	0,3
ВМП-10-630-1500/20У	ПЭ-11У	58	2,5	0,3
ВМП-10Э-3000/350	ПЭВ-12	100	2,5	0,35
ВМПЭ-10-630-1600/20	ПЭВ-11А	90	2,5	0,3
ВМПЭ-10-630-1000/31,5	ПЭВ-11А	100	2,5	0,3
ВЭМ-6-2000/38,5-100	ПЭ-21	148	2,5	0,3
ВЭМ-6-2000/40-125	ПЭ-21	250	2,5	0,3
ВЭМ-6-3200/40-125	ПЭ-21	250	2,5	0,3
ВЭМ-10К	ПЭГ-7	80	1,25	0,25
МГ-10	ПС-31	155	2,5	0,75
МГ-20	ПС-31	155	2,5	0,7
МКП-35-1500	ШПЭ-31	124	5	0,4—0,45
У-35-2500	ШПЭ-36	244	2,5	0,38
С-35-630-10	ШПЭ-116	101	2,5	0,34
С-35-3200-50	ШПЭ-38	244	5	0,38
МГ-35	ШПС-20	66	2,5	0,3—0,4
МГ-35В	ПС-20	75	2,5	0,3—0,4
ВМК-35Э-1/1 (ВМК-5Б)	ПЭ-31Н	160	5	0,18
У-110-2000-50	ШПЭ-46	440	10	0,65
У-110-8	ШПЭ-44-У1	360	2,5	0,7—0,8
МКП-110	ШПЭ-33	244	5	0,5
МКП-110М	ШПЭ-33	244	5	0,6
МКП-110МП	3хШПЭ-31	3х85	3х5	0,6
У-220-10	3хШПЭ-44-1	3х240	3х2,5	0,6—0,8
МГ-110	ШПС-30М	155	4	0,3—0,5

Приложение 5. Воздушные выключатели

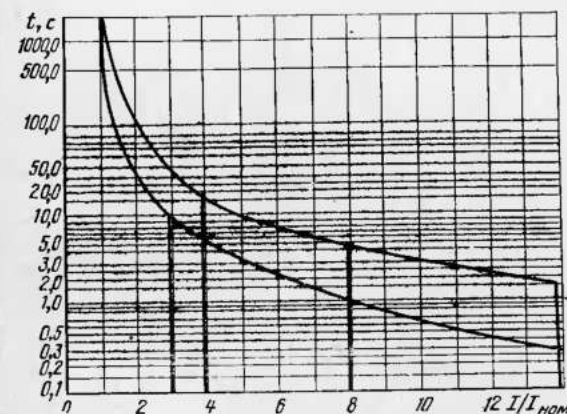
Тип	Ток электромагнита, А		Время включения выключателя, с	Время отключения выключателя, с
	начальный	через 0,015 с		
ВВБ-110-6	3×12	3×4,5	0,15	0,08
ВВБ-220-12	3×12	3×4,5	0,2	0,08
ВВБ-330-20	3×20	3×5	0,25	0,08
ВВБ-500-30	3×20	3×5	0,3	0,08
ВВБ-250-45	3×20	3×5	0,3	0,08
ВВН-110-6	3 (10÷12)	3 (4÷4,5)	0,2	0,07
ВВН-220-10	3 (10÷12)	3 (4÷4,5)	0,25	0,08
ВВН-330-15	3 (10÷12)	3 (4÷4,5)	0,3	0,08

Приложение 6. Автоматические выключатели АП50-2МТ, АП50-3МТ

Номинальный ток теплового расцепителя, А	Номинальный ток отключения для напряжения		Допустимое количество отключений
	переменного 500 В и cosφ = 0,5	постоянного 220 В	
1,6	300	1000	35
2,5	400	1000	25
4	600	1000	15
6,4	800	1500	10
10	1500	1500	3
16	1500	1500	3
25	1500	2000	3
40	1500	2000	3
50	1500	2000	3

Примечание. Температура окружающего воздуха от -10 до +40° С. Кратность тока срабатывания отсечки к номинальному току $I_{ном}$ теплового расцепителя 3,5 при разбросе (3÷4) $I_{ном}$ и 11 $I_{ном}$ при разбросе (8÷14) $I_{ном}$. Отсечка калибруется на заводе на переменном токе; ток срабатывания отсечки по постоянному току составляет 1,3 тока срабатывания по переменному току.

Приложение 7. Защитные характеристики расцепителей выключателя АП50-МТ

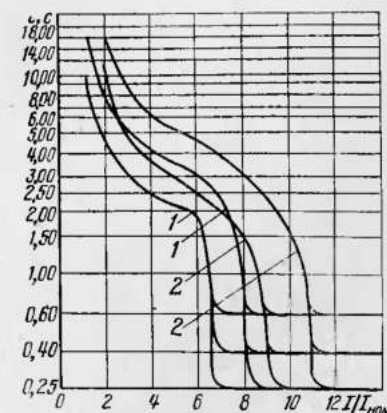


Приложение 8. Расцепители выключателей АМВ4С

Номинальный ток расцепителя, А	Пределы регулирования тока срабатывания расцепителей, А	
	зависимого	независимого
120	150—250	960—1300
150	190—300	1200—1650
200	250—400	1600—2200
250	310—500	2000—2750
300	375—600	2400—3300
400	500—800	3200—4400

Примечание. Номинальный ток выключателя 400 А. Выдержка времени в независимой части может быть 0,25—0,4 или 0,4—0,6 с. Температура окружающего воздуха -25÷+40° С.

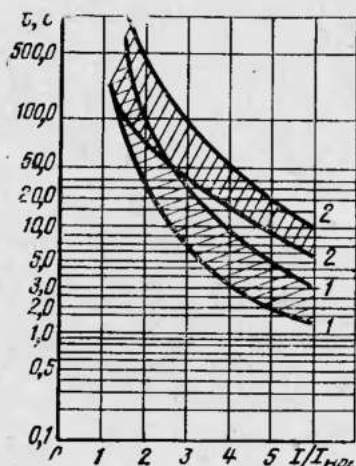
Приложение 9. Защитные характеристики расцепителей выключателя АМВ4С (1—1 — при уставке «Мин.»; 2—2 — при уставке «Макс.»)



Приложение 10. Двухполюсные выключатели постоянного тока серии А3700 с полупроводниковыми расцепителями

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя	Тип расцепителя	Калиброванный номинальный ток зависящего расцепителя, А	Калиброванная кратность отсечки	Калиброванное время срабатывания, с	
					зависимого расцепителя при пятикратном токе	отсечки
A3710C	160	РПЗ11Б РПЗ12Б РПЗ13Б	20, 25, 32, 40 40, 50, 63, 80 80, 100, 125, 160	2, 4, 6	4, 8, 16	Без выдержки времени
A3730	400	РПЗ34С	160, 200, 250	2, 4, 6	4, 8, 16	0,1; 0,25
A3730	400	РПЗ35С	250, 320, 400			
A3740	630	РПЗ35С	250, 320, 400			
A3740	630	РПЗ46С	400, 500, 630			

Примечание. Температура окружающего воздуха от -40 до $+40$ °С; номинальное напряжение: постоянное 440, переменное 660 В.



Приложение 11. Защитная характеристика полупроводникового расцепителя выключателя А3700 (уставки при пятикратном токе: 1—1—4 с; 2—2—16 с)

Приложение 12. Стабилизаторы серии С

Параметры	С-0,5; С-0,5Т	С-0,75; С-0,75Т	С-0,9; С-0,9Т	С-1,7С	С-3С
Номинальное напряжение сети, В	220/380	127/220	220/380	220	220
Номинальная частота сети, Гц	50	50	50	50	50
Номинальный ток нагрузки, А	2,3	3,4	4,1	7,8	13,6
Номинальная мощность, кВт	0,5	0,75	0,9	1,7	3
Номинальное стабилизированное напряжение, В	220 ± 5	220 ± 5	220 ± 5	220 ± 4	220 ± 4
Потери холостого хода, не более, Вт	100	140	150	—	—
КПД	—	—	—	0,8	0,8

Примечания: 1. Для стабилизаторов С-0,5, С-0,75, С-0,9 при изменении напряжения сети в пределах $-17 \div +8$ % выходное напряжение изменяется не более чем на 1 %. При изменении частоты в пределах 48—52 Гц выходное напряжение изменяется на 3—3,5 % на 1 Гц. Стабилизаторы предназначены для активной нагрузки.

2. Для стабилизаторов С-1,7С и С-3С при изменении напряжения питания в пределах 170—250 В выходное напряжение изменяется не более чем на 1 %. При изменении частоты в пределах 49—51 Гц выходное напряжение изменяется на 3—4 % (на 1 Гц). При изменении $\cos \phi$ нагрузки в пределах 1,0—0,8 выходное напряжение снижается не более чем на 4 %. Содержание высших гармоник в стабилизированном напряжении не более 4 % при номинальной нагрузке и до 5 % при снижении нагрузки на 20 %.

Приложение 13. Блоки питания БПРУ-66/220, БПРУ-66/380

Температура окружающего воздуха, °С	± 40
Номинальное напряжение питания, В:	
для БПРУ-66/220	$220 \pm 10\%$
для БПРУ-66-380	$380 \pm 10\%$
Выпрямленное напряжение холостого хода, В:	
для БПРУ-66/220	296
для БПРУ-66/380	258
Выпрямленное напряжение на нагрузке, В	220
Выпрямленный ток на нагрузке, А	55—300
Длительность включения нагрузки, с	1
Промежуток времени между включениями нагрузки, с	0,5
Количество включений в циклах при токе:	
300 А	4
150 А	6
Время между циклами, мин	10
Мощность, кВт	66

Приложение 14. Трансформаторы напряжения

Тип	Номинальное напряжение обмотки, В			Номинальная В·А	
	ВН	НН _{осн}	НН _{доп}	0,2	0,5
НТС-0,5	380	100	—	—	50
НТМК-6-71	3000	100	—	—	50
	6000	100	—	—	75
НТМК-10-71	10 000	100	—	—	120
НТМИ-6-66	3000; 6000; 6300; 6600	100	100/3	—	75
НТМИ-10-66	10 000; 10 500; 11 000	100	100/3	—	120
НОС-0,5	380; 500; 660	100	—	—	25
НОСК-3	3000	100	—	—	30
НОСК-6-66	6000	127—100	—	—	50
НОЛ.08-6	6000	100	—	30	50
НОЛ.08-10	10 000	100	—	50	75
НОМ-6-77	3000; 3150; 6000; 6300; 6600	100	—	—	50
НОМ-10-66	10 000; 10 500; 11 000	100	—	—	75
НОМ-15-71	13 800 15 000; 15 750 18 000	100	—	—	75
НОМ-35-66	20 000; 35 000	100	—	—	150

мощность, в классе		Предельная мощность, В·А	u _к , %			Примечания
1	3		ВН НН _{осн}	ВН НН _{доп}	НН _{осн} НН _{доп}	
75	200	400	3,75	—	—	Трехфазный сухой двухобмоточный
75 150 200	200 300 500	400 630 1000	2,98 3,92 3,07	— — —	— — —	Трехфазный масляный двухобмоточный с компенсацией погрешностей
150	300	630	5,23	10,85	11,8	Трехфазный масляный трехобмоточный с тремя сердечниками
200	500	1000	5,00	10,1	10,2	То же
50	100	160	4,4	—	—	Однофазный сухой двухобмоточный
50 75	150 200	250 400	4,2	— —	— —	То же
75 150	200 300	400 630	3,47 4,95	— —	— —	Однофазный с литой изоляцией двухобмоточный
75	200	400	6,15	—	—	Однофазный масляный двухобмоточный
150	300	630	6,4	—	—	То же
150	300	630	3,6 4,63 4,5	— — —	— — —	Однофазный масляный двухобмоточный
250	600	1000	3,87	—	—	То же

Тип	Номинальное напряжение обмотки, В			Номинальная В·А,	
	ВН	НН _{осн}	НН _{доп}	0,2	0,5
ЗНОМ-15-63	6000/ $\sqrt{3}$; 6300/ $\sqrt{3}$; 6600/ $\sqrt{3}$	100/3	100/3	—	50
	10 000/ $\sqrt{3}$; 10 500/ $\sqrt{3}$; 11 000/ $\sqrt{3}$; 13 800/ $\sqrt{3}$; 15 000/ $\sqrt{3}$; 15 750/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100/3	—	75
ЗНОМ-15-72	15 750/ $\sqrt{3}$ 18 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100/3	50	100
ЗНОМ-20-63 ЗНОМ-24-69 ЗНОМ-35-69; ЗНОМ-35-72	20 000/ $\sqrt{3}$ 24 000/ $\sqrt{3}$ 35 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100/3	—	150
ЗНОЛ.09-6 ЗНОЛ.09-10	6000/ $\sqrt{3}$ 10 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ 100/ $\sqrt{3}$	100/3 или 100	30 50	50 75
ЗНОЛ.06-6 ЗНОЛ.06-6 ЗНОЛ.06-10	3000/ $\sqrt{3}$; 3300/ $\sqrt{3}$; 6300/ $\sqrt{3}$; 6600/ $\sqrt{3}$; 6900/ $\sqrt{3}$; 10 000/ $\sqrt{3}$; 11 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$ 100/ $\sqrt{3}$ 100/ $\sqrt{3}$	100/3 или 100 100/3 или 100 100/3 или 100	15 30 50	30 50 75

мощность, в классе		Предельная мощность, В·А	μ_K , %			Примечания
1	3		ВН НН _{осн}	ВН НН _{доп}	НН _{осн} НН _{доп}	
75	200	400	3,42	4,85	5,16	Однофазный масляный с заземленным выводом первичной обмотки с двумя вторичными обмотками
150	300	630	4,63 4,57 5,1	7,95 7,7 8,15	5,85 6,8 6,83	
150	—	630	5,1 5,6	9,2	7,93	Однофазный с литой изоляцией с заземленным выводом первичной обмотки с двумя вторичными обмотками
250	600	1000	5,25 4,4 6,0	9,75 8,05 11,2	7,93 7,65 10,4	
75 150	200 300	400 630	3,55 4,8	5,5 7,9	4,65 6,65	
50	150	240	—	—	—	
75	200	400	3,55	5,5	4,65	
150	300	640	4,8	7,9	6,65	

Тип	Номинальное напряжение обмотки, В			Номинальная В·А	
	ВН	НН _{осн}	НН _{доп}	0,2	0,5
ЗНОЛ.06-15	13 800/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100/3 или 100	50	75
ЗНОЛ.06-20	15 750/ $\sqrt{3}$				
	18 000/ $\sqrt{3}$				
ЗНОЛ.06-24	20 000/ $\sqrt{3}$				
	24 000/ $\sqrt{3}$				
НКФ-66-75;	66 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	400
НКФ-66-76	110 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	400
НКФ-110-57;	13 200/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	400
НКФ-110-58	150 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	400
НКФ-132-73	220 000/ $\sqrt{3}$				
НКФ-220-58	330 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	400
НКФ-330-73	400 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	—
НКФ-400-69	500 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	—
НКФ-500-78					
НДЕ-500-72	500 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	300
НДЕ-750-72	750 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	300
НДЕ-1150-78	1 150 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100	—	—

Вспомогательные однофазные

Тип	Номинальное напряжение, В		
	ВН	НН _{осн}	НН _{доп}
ЗОМ-1/15-63У2	6000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	127—100
	10 000/ $\sqrt{3}$		
	13 800/ $\sqrt{3}$		
	15 700/ $\sqrt{3}$		

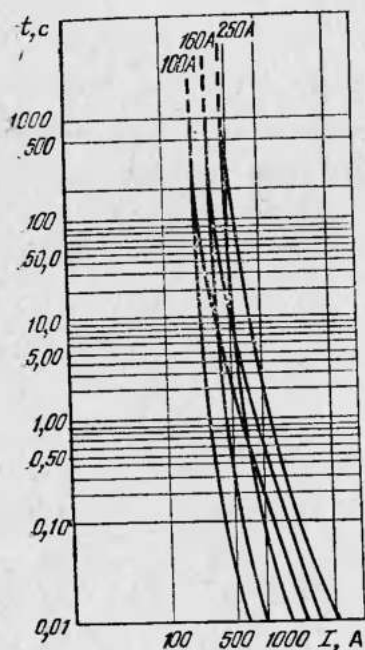
Мощность, в классе		Предельная мощность, В·А	u _к , %			Примечания
1	3		ВН НН _{осн}	ВН НН _{доп}	НН _{осн} НН _{доп}	
150	300	640	5,12	8,5	6,65	Однофазный с литой изоляцией с заземленным выводом первичной обмотки с двумя вторичными обмотками
			5,12	8,45	6,65	
			5,02	8,3	6,65	
			5,02	8,2	6,65	
			5,03	8,4	6,65	
600	1200	2000	—	—	—	Однофазный с заземленным выводом первичной обмотки с двумя вторичными обмотками каскадный в фарфоровой крышке
600	1200	2000	4,05	3,87	0,62	
600	1200	2000	4,43	5,6	0,535	
600	1200	2000	3,83	4,6	0,535	
600	1200	2000	4,13	5,15	0,54	
600	1200	2000	4,35	4,2	0,27	С емкостным делителем
500	1000	2000	5,45	—	—	
500	1000	2000	4,48	6,4	0,3	
500	1000	1600	1,9	0,65	0,15	
500	1000	1600	1,9	0,65	0,15	
300	600	1200	—	—	—	

трансформаторы типа ЗОМ

Мощность, В·А			u _к , %	
НН _{осн}	НН _{доп}	общая	ВН/НН _{осн}	ВН/НН _{доп}
75	850	925	1,65	7,55
—	—	—	1,69	8,22
—	—	—	1,615	7,2
—	—	—	1,71	8,22

Тип	Номинальное напряжение, В		
	ВН	НН _{осн}	НН _{доп}
ЗОМ-1/20-63-У2	18 000/ $\sqrt{3}$ 20 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	127—100 —
ЗОМ-1/24-69-У1	24 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100
ЗОМ-1/35-72-У1	35 000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100

Примечания: 1. Значения u_k % отнесены к предельной мощ. ВН/НН_{доп} (соответствует активному сопротивлению, для НН_{осн} и схеме 1/1-0, трехфазные—по схеме $Y_n/Y_n/0$).



Приложение 15. Защитные характеристики предохранителей ПНБ5

Продолжение прилож. 14

Мощность, В·А			u_k %	
НН _{осн}	НН _{доп}	общая	ВН/НН _{осн}	ВН/НН _{доп}
75	850	925	2,18	8,4
—	—	—	2,14	8,15
75	850	925	0,94	4,08
75	850	925		4,62

ности трансформатора. 2. Для НДЕ значения u_k ВН/НН_{осн} и НН_{доп}—индуктивному. 3. Однофазные трансформаторы соединены по

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. — М.: Энергия, 1977. — 288 с.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ-76) — 5-е изд. — М.: Атомиздат, 1976—1981.
3. Сборник директивных материалов. Электрическая часть. — М.: Энергия, 1971. — 464 с.
4. Хейфец И. Д., Якуб Ю. А. Кислотные аккумуляторные батареи на понижающих подстанциях. — Электрические станции, 1971, № 1, с. 7.
5. Крючков И. П., Кувшинский Н. Н., Неклепаев Б. Н. Электрическая часть станции и подстанций/Справочные материалы. — М.: Энергия, 1978. — 456 с.
6. Вавин В. Н. Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи. — М.: Энергия, 1977. — 105 с.
7. Инструкции по проверке трансформаторов напряжения и их цепей. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1979. — 137 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Расчет токов короткого замыкания в цепях аккумуляторных батарей	4
2. Защита цепей аккумуляторных батарей предохранителями	15
3. Защита цепей аккумуляторных батарей автоматическими выключателями	27
4. Защита вторичных цепей на переменном оперативном токе	46
5. Защита вторичных цепей трансформаторов напряжения	60
Приложения	68
Список литературы	3-я стр. обл.

20 к.