**ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**



**НАГРЕВ ПРОВОДНИКОВ И ЗАЩИТА ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ до 1000 *в***

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

*Выпуск 219*

Д. С. ЛИВШИЦ

НАГРЕВ ПРОВОДНИКОВ

И ЗАЩИТА ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ
В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ ДО 1 000 *в*

*Издание второе, переработанное и дополненное*



«Э Н Е Р Г И Я»

МОСКВА 1967

УДК 621.315.5:621.316.923.1 (04)

6П2.13

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А.,
Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

Лившиц Д. С.

Л 55 Нагрев проводников и защита предохраните­лями в электросетях до 1 000 *в.* Изд. 2-е, пере- работ. и доп., М., «Энергия», 1967.

74 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 219). 20 000экз. 15 к.

В доступной форме рассказывается, каким образом на основа­нии известных величин и характера изменения ожидаемой нагрузки можно легко подсчитать ожидаемый нагрев проводника; какие тре­бования предъявляют Правила устройства электроустановок (ПУЭ) к защите проводников, как правильно выбрать номинальный ток плавкой вставки и сечение проводников и какие защитные функции может выполнять плавкий предохранитель. Рассчитана на широкий круг электромонтеров, занятых эксплуатацией электроустановок.

3-3-9

128-66

*Лившиц Давид Соломонович*

**Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до I 000** *в*

Редактор Г. *Г. Родин* Технический редактор *В. В. Зеркаленкова*

Художественный редактор *В. И. Карпов* Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 29/Х 1966 г. Подписано к печати 4/1 1967 г.

Т-01703 Формат 84X108732 Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 3,78 Уч.-изд. л. 4,27 Тираж 20 000 экз

Цена 15 коп. Зак. 2687

Издательство „Энергия", Москва, Ж-Н4, Шлюзовая наб , 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Очень широкий круг лиц — от опытного инженера до начинающего электромонтера включительно — сталки­вается на практике с вопросами выбора сечения провод­ников электрических сетей до 1 000 *в* и номинальных токов плавких вставок предохранителей для их защиты. Нередко эти вопросы решаются неправильно: сечение проводов и плавкие вставки предохранителей выбирают­ся с чрезмерными запасами «на всякий случай» из бояз­ни возможных опасных последствий перегрузок (воспла­менения изоляции, пожара). При этом не только произ­водятся излишние, необоснованные затраты, но и часто ухудшаются условия безопасности для людей, так как большие плавкие вставки медленнее отключают токи замыкания на землю в сетях с заземленной нейтралью и, следовательно, медленнее снимают опасные потен­циалы с заземленных частей оборудования.

Не только трудности предварительного расчета на­грузки и ее пиков являются причинами таких неправиль­ных решений. Даже когда величина и характер измене­ний нагрузки известны, правильный выбор селений проводников и плавких вставок для их защиты возмо­жен только при знакомстве с законами нагревания про­водников электрическим током с законами старения изо­ляции и с физическими свойствами и защитными харак­теристиками предохранителей. Изучение этих вопросов поможет также понять и сознательно выполнять требо­вания действующих Правил устройства электроустано­вок.

Второе издание дополнено указаниями и примерами, расширяющими представление о способах учета относи­тельного старения изоляции при выборе проводников для установок с переменным графиком нагрузки и при определении наблюдаемых в действующих установках

значений коэффициентов спроса. Введены указания о предельно допустимых нагревая при перегрузках и при коротких замыканиях. Выделены в отдельную главу и соответственно расширены указания по выбору предо­хранителей; пояснены и иллюстрированы примерами требования действующих Правил устройства электро­установок. В необходимых случаях имевшиеся в пер­вом издании примеры пересчитаны применительно к из­менившимся в ПУЭ данным о длительно допустимых нагревах и нагрузках проводников с теплостойкой рези­новой и с полихлорвиниловой изоляцией.

Автор выражает благодарность всем товарищам, со­общившим свои ценные замечания и пожелания для уче­та при подготовке второго издания, и будет глубоко при­знателен тем читателям, которые помогут ему улучшить эту работу, сообщив свои критические замечания и по­желания по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия», Библиотека электромонтера.

*Автор*

**НАГРЕВ ПРОВОДНИКОВ**

1. **Основные определения**

**Проводником** называется любое тело, по которому передается электрический ток. Обычно в качестве про­водников применяются алюминиевые или медные шины, провода, кабели. Иногда, особенно в сетях постоянного тока, в качестве проводников используются стальные, более или менее массивные брусья, шины, швеллеры, рельсы, уголки, трубы. В аварийных режимах, например при случайных замыканиях или при пробое изоляции, проводниками могут оказаться металлические корпусы ма­шин, аппаратов и приборов, оболочки проводов и кабелей и разные конструкции.

Под словами **нагрев (температура) проводника** обыч­но подразумевается нагрев (температура) токоведущих жил. Когда имеется в виду нагрев (температура) изоля­ции или оболочек проводников, то это оговаривается особо.

**Превышением нагрева (температуры) проводников** называется разность между температурой их жил и тем­пературой среды (воздуха, земли, воды), в которой про­ложены проводники вместе с их изолирующими и защит­ными оболочками или трубами.

**Установившимся нагревом или установившимся превы­шением нагрева** называется такой нагрев или превышение нагрева, величина которого практически вовсе не изме­няется или изменяется очень медленно' и притом в очень малых пределах.

**Пример 1.** В помещении с температурой воздуха 25° С проло­жены проводники. Так как они долго не были нагружены током, то, естественно, их температура тоже равна 25° С. Когда проводни­ки нагрузили током, их нагрев стал повышаться и в конце концов, после длительной нагрузки, достиг 65° С. Дальнейшее повышение нагрева практически не замечалось.

В этом случае можно написать:

температура среды фср = 25°С;

установившийся нагрев проводников (жил) Фу.ж = 65°С;

установившееся превышение нагрева проводников

Ту — Фу. ж—Фер 5

(1)

Ту = 65—25 = 40° С.

1. Установившееся превышение нагрева проводника
при длительной нагрузке

Часть электрической энергии, передаваемой по про­водникам, переходит в тепловую. Тепловая энергия рас­ходуется в начале на постепенное увеличение превыше­ния нагрева проводника, а затем — на поддержание установившегося превышения во время работы, т. е. на компенсацию потерь тепла, рассеиваемого поверхностью проводника в окружающую среду.

Величина установившегося превышения нагрева за­висит от количества тепла, выделяемого в проводнике в единицу времени, и от того количества тепла, которое в единицу времени рассеивается через наружную поверх­ность проводника или его оболочки в окружающую среду.

Количество выделяемого тепла прямо пропорцио­нально квадрату тока и электрическому сопротивлению проводника (/2г), а количество рассеиваемого тепла за­висит от теплового сопротивления пути передачи тепла от проводника к наружной (рассеивающей) поверхно­сти, от размеров этой поверхности и от коэффициентов теплоотдачи, учитывающих ее способность рассеивать тепло. По мере увеличения температуры проводника обычно увеличивается и его сопротивление, следова­тельно, увеличивается и количество выделяющегося в нем тепла, хотя величина тока и остается неизменной. Однако при увеличении температуры проводника уве­личивается перепад (разность) между этой температу­рой и температурой среды, а это улучшает способность поверхности проводника рассеивать тепло (повышает коэффициент теплоотдачи). В итоге увеличение количе­ства выделяющегося тепла в определенной мере компен­сируется увеличением теплоотдачи. Поэтому для усло­вий длительного режима работы, при котором допуска­емые нагревы проводников обычно невелики, можно без заметной погрешности считать, что сопротивление про- **6**

водника и коэффициент теплоотдачи — величины по­стоянные.

При этих условиях величина установившегося пре­вышения нагрева зависит только от величины тока; она изменяется прямо пропорционально квадрату тока. Сле­довательно, зная, чему равно установившееся превыше­ние нагрева туь соответствующее одной какой-либо вели­чине длительной нагрузки /ь можно подсчитать, чему будет равно установившееся превышение нагрева тУ2, со­ответствующее любой другой величине длительной на­грузки *I2'.*

ТУ2—ТУ1 \* (2)

В гл. 1-3 ПУЭ [Л. 1] для разных проводников в раз­ных условиях прокладки указан длительно допустимый по нормам ток /н и соответствующие ему установившая­ся температура жилы Фж.н и температура среды Фср.п-

На основе этих данных можно определить величину установившегося превышения нагрева, принятую в нор­мах при исчислении /н;

Ту.н = Йж.н ^ср.н- (3)

Следовательно, располагая данными гл. 1-3 ПУЭ, можно всегда подсчитать, чему будет равно установив­шееся превышение нагрева ту проводника при длитель­ной нагрузке его током /, отличным от /н‘

''у = 'су.н(т-') - (4)

*\ i* и у

**Пример 2.** По данным § 1-3-8 ПУЭ известно, что три одножиль­ных провода с алюминиевыми жилами 6 *мм2,* с резиновой изоля­цией при прокладке в одной трубе допускают длительную нагрузку /н = 32 *а* и известно, что при этой нагрузке и при температуре сре­ды (воздуха) 'О’Ср.н = 25°С конечный нагрев жил будет достигать н = 65° С. Требуется узнать, до какой температуры нагреваются провода, если в аварийном режиме установится длительная на­грузка 46 *а.*

Решение. Допускаемое нормами установившееся превыше­ние нагрева по (3) равно ту.н = 65—25=40° С. Такое превышение нагрева имеют жилы при длительной нагрузке их током 32 *а.* Если же проводники вместо 32 *а* нагрузить длительно током 46 *а,* то /46 .2 установившееся превышение нагрева по (4) достигнет ту =401 I = = 83° С, а установившийся нагрев = 83 4-25= 108° С.

1. Изменение превышения нагрева проводника от нуля до установившейся величины при неизменной нагрузке

Температура проводника, длительно не нагружавше­гося током, равна температуре среды. Установившееся превышение нагрева в этом случае т=0. Если такой про­водник нагрузить током /, то превышение нагрева нач­нет увеличиваться от нуля и постепенно достигнет уста-



Рис. 1. Изменение превышения нагрева провод­ника от нуля до установившейся величины при неизменной нагрузке.

новившейся величины, соответствующей току /. Этот процесс роста превышения нагрева при неизменной на­грузке может быть представлен так называемой экспо­ненциальной кривой *ОВД* (рис. 1). Вначале, когда пре­вышение нагрева проводника мало, каждая единица его поверхности в единицу времени отдает в окружающую среду очень мало тепла и почти все тепло, выделяемое в проводнике, расходуется на повышение его температу­ры; поэтому вначале превышение нагрева возрастает быстро, почти по прямой линии (почти прямо пропор­ционально времени); затем по мере роста превышения нагрева отдача тепла в окружающую среду повышается и поэтому процесс повышения нагрева все больше и больше замедляется; наконец, наступает момент, когда разница между количеством тепла, отдаваемым поверх­ностью проводника в окружающую среду, и количеством, выделяемым в проводнике, становится незаметной. По­этому становится незаметным и дальнейший рост превы­шения нагрева; оно достигло установившейся величи­ны Ту.

Уравнение кривой *ОВД* (рис. 1) имеет вид:

**Г ]**

1 — *е* (5)

где *Xt —* величина превышения нагрева проводника

в конце любого отрезка времени /, считая от момента, когда это превышение нагрева было равно нулю и появилась рассматриваемая на­грузка;

Ту — установившееся превышение нагрева, может быть определено по (4), как указано в приме­ре 2;

*е —* основание натуральных логарифмов, е = 2,718;

*t —* отрезок времени, исчисляемый обычно в мину­тах или секундах, от момента появления на­грузки до момента, для которого подсчитывают величину превышения нагрева;

*Т —* постоянная времени нагревания проводника, она измеряется в тех же единицах, что и *t.*

Постоянная времени *Т* численно равна отношению теплоемкости проводника к его теплоотдаче. Физический смысл этой величины может быть определен как время, в течение которого превышение нагрева проводника по­высилось бы от нуля до значения ту, если бы не было отдачи тепла от проводника в окружающую среду, т. е. если бы повышение нагрева шло не по кривой *ОВД* (рис. 1), а по прямой *О А,* касательной к *ОВД* в точке *0.* Значения *Т* для некоторых типов проводников и условий прокладки приведены в приложении 1.

/ \_ jf\_\

Вычисленные значения \1—*е т )* для разных значе­ний *t/T* приведены в приложении 2. Подставляя эти вы­численные значения в уравнение (5), нетрудно видеть, что при *t/T,* равном 1, 2, 3, 4, 5, т. е. через отрезки вре­мени /, равные 17; 27; 37; 47; 57, превышение нагрева достигает соответственно 0,632; 0,864; 0,950; 0,982 и 0,994 от установившейся величины ту (рис. 1). Поэтому обыч­но ограничиваются вычислением превышений нагревов по уравнению (5) для значений /<(34-4)7, а для />(34-4)*Т* принимают превышение нагрева равным установившемуся по уравнению (4), так как это упро­щает расчет, а ошибка, как это видно из вышеизложен­ного, не превысит (54-2) % .

Для определения постоянной времени нагревания можно нагрузить током проводник и, измеряя через определенные промежутки времени его температуру и температуру среды, построить в произвольном масштабе кривую изменения превышения нагрева подобно кривой *ОВД* (рис. 1). Если затем на оси ординат отметить точ­ку, соответствующую величине 0,632 ту, из этой точки провести линию, параллельную оси абсцисс, до пересече­ния с кривой, из точки пересечения опустить перпенди­куляр на ось абсцисс, то таким образом будет найдена величина *t = T* (рис. 1).

**Пример 3.** Имеется трехфазная линия из трех одножильных медных проводов сечением ,150 *мм2* каждый, с резиновой изоляцией, проложенных в одной трубе. Нормально эта линия не несет на­грузки и температура проводов равна температуре среды. В ава­рийном режиме к этой линии вначале (до принятия мер персона­лом) присоединяется нагрузка, превышающая в 2,6 раза нагрузку, допускаемую по нормам (/:/п = 2,6). Надо для ориентации персо­нала подсчитать, как скоро и до какой величины возрастет превы­шение нагрева проводов.

Решение. Данные для расчета, как и сам расчет, сводим в табл. 1.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ^у.н'•’'нху*Т, мин* | 40°2,640-2,62=270°41 | Определяется поуравнению (3)Задано или выяв­ляется по данным уста­новки и по [Л. 1]По уравнению (4)Определяется по при­ложению ] |
| *t, мин* | 4 | 8 | 12 | 16 | Выбирается произ­вольно так, чтобы по­лучить круглые значе­ния *t : Т* |
| *i: Т* | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | Подсчитывается |
| *t***1-е** *Т* | 0,095 | 0,18 | 0,26 | 0,33 | Выписывается из при­ложения 2, по данным *t : Т* |
|  | 0,095-270= =25,5° | 0,18-270==48,5° | 0,26-270==70° | 0,33-270= =90° | По уравнению (5) |

Полный нагрев (температура) провода находится путем добав­ления температуры среды к подсчитанным значениям превышения нагрева. Продолжая таким же образом расчет для больших значе­ний *t,* нетрудно выявить всю картину повышения нагрева: превы­шение нагрева до 100° может быть достигнуто примерно через 19 *мин,* а 200° — через 55 *мин.*

В некоторых случаях возникает необходимость под­считать величину превышения нагрева за очень короткие отрезки времени, например за время действия защиты при коротких замыканиях. В этих случаях отношение *t: Т* обычно очень мало.

По данным приложения 2 и непосредственным расче­там нетрудно убедиться, что чем меньше значение *t:* Т, тем меньшая ошибка будет допущена, если в уравнение / \

(5) вместо 1 — *е т* 1 подставить величину *t: Т.*

Так, например, из приложения 2 видно, что при *t:* Т = 0,3

1—*ё~Т^ =* 0,258 и подстановка в уравнение »(б) ве- / - —\

личины *t:T* -вместо величины ( 1—*ё т* ) привела бы к ошибке в сторону преувеличения превышения нагрева (в сторону запаса) на 16%; при /:Г = 0,2 ошибка не превышает 5%. Это соответствует отмеченному ранее факту, что в начальный период нагрев проводника по­вышается почти прямо пропорционально времени (по прямой *ОА,* рис. 1). Поэтому для всех случаев, когда *t:T* равно или меньше 0,1, можно растет вести не по уравнению (5), а по более простому уравнению

= (6)

**Пример 4.** Для линии, указанной в примере 3, расчет по (6) для случая / = 4 *мин* (/: 7^0,1) дает = 0,1 • 270 = 27°, что состав­ляет около 106% от 25,5°, полученных в табл. 1 из расчета по (5). Для /<4 *мин* ошибка будет еще меньше.

1. Изменение превышения нагрева проводника
после отключения нагрузки

Превышение нагрева проводника, длительно находя­щегося под нагрузкой током неизменной величины, до­стигает установившегося значения. Если с такого про­водника нагрузку снять, то превышение нагрева начнет понижаться от установившегося значения и постепенно достигнет нуля. Этот процесс снижения может быть представлен экспоненциальной кривой, изображенной на рис. 2. Она представляет собой зеркальное изображение кривой *ОВД* (рис. 1), и к ней относится все сказанное

П

о последней: пока превышение нагрева велико, остыва­ние идет интенсивно (почти прямо пропорционально вре­мени); по мере снижения температуры отдача тепла в окружающую среду уменьшается и процесс охлажде-



Рис. 2. Изменение превышения нагрева проводника после отключения нагрузки.

ния все больше и больше замедляется. Уравнение кри­вой охлаждения (рис. 2) имеет вид:

\_\_L

= т' (7)

где *Xt —* величина превышения нагрева проводника в конце любого отрезка времени /, считая от момента отключения нагрузки;

То — превышение нагрева, которое имел проводник в момент отключения нагрузки;

е, *t, Т —* здесь то же, что и для уравнения (5).

Для облегчения расчетов в приложении 2 приведены

*“ Т*

также вычисленные значения величин *е* для разных значений *t: Т.* Из этих данных, из непосредственных расчетов по уравнению (7) и из рис. 2 нетрудно видеть, что все сказанное выше о расчетах превышений, нагре­вов по (5) для моментов времени /, равных IT, 2Т, ЗТ, 47 и 57, сохраняет свою силу и для процесса охлажде­ния, рассчитываемого по (7).

Полный нагрев проводника в любой момент вре­мени *'t* после отключения нагрузки и в данном случае равен превышению нагрева, определенному по уравне\* нию (7), цлюс температура окружающей среды.

**Пример 5.** Проложенный в земле трехжильный кабель с бу­мажной изоляцией до 3 *кв,* с медными жилами сечением 120 *мм2* перенес сквозной ток короткого замыкания, при котором его жилы были нагреты до ФЖ=215°С. Защита отключила кабель. Опреде­лить, чему будет равно превышение нагрева жил кабеля через 15, 30, 60, 90, 120 и 150 *мин* после отключения тока.

Решение. Воспользовавшись приложением 1, находим для такого кабеля: Т=30 *мин,* а на основании гл. 1-3 ПУЭ находим '0,ж.н = 80°С, а '0'Ср.н= 15° С. Следовательно, превышение нагрева жил в момент отключения тока было равно То=215—15=200° С. По этим данным, а также пользуясь приложением 2 и уравнением (7), составляем табл. 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t, мин* | 15 | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| *t:T* | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 |
| *t**е т* | 0,607 | 0,368 | 0,136 | 0,050 | 0,018 | 0,006 |
| *t* -4=200-^ *т* , °C | 121,4 | 73,6 | 27,2 | 10 | 3,6 | 1,2 |

На основе данных расчета, приведенного в табл. 2, приходим к выводу, что только примерно через 34 *мин* после отключения тока короткого замыкания превыше­ние нагрева! этого кабеля снизится до длительно допу­стимой по нормам температуры 65° С, а полностью он остынет только через 2—2,5 *ч.*

1. Изменение превышения нагрева проводника
при переменной нагрузке

Если проводник был нагружен током /0 и имел уста­новившееся превышение нагрева То, а затем в момент времени «нуль» (рис. 3) нагрузка изменилась до /, то, естественно, превышение нагрева проводника также начнет меняться и с течением времени достигнет уста­новившейся величины Ту, соответствующей нагрузке *I,* Величину Ту можно определить либо по< (2) на основе данных /:/ои величины То, либо, если т0 неизвестно, по уравнению (4).

Процесс изменения превышения нагрева проводника от То до Ту легче всего поддается анализу, если условно рассматривать его как результат двух независимых про­цессов, протекающих в одно и то же время.

Процесс 1. Проводник был нагружен током /0 и имел установившееся превышение нагрева То. В какой-то

момент времени («нуль» на рис. 3) нагрузка /о была отключена. Превышение нагрева проводника, обуслов­ленное этой нагрузкой, должно понижаться от То к нулю по уравнению (7), что на рис. 3 изображено кривой *2.*

Процесс 2. В тот же момент времени, когда была выключена нагрузка /о, включена другая нагрузка Л Превышение нагрева проводника, обусловленное этой нагрузкой, должно повышаться от *0* до соответствую-



Рис. 3. Изменение превышения нагрева проводника от величины То, соответствующей ранее имевшейся нагрузке /о, до величины ту, со­ответствующей вновь установившейся нагрузке /.

*а —* увеличение превышения нагрева при />/о; *б —* снижение превышения на­грева при /</0.

щего этой нагрузке установившегося превышения на­грева Ту по уравнению (5), что на рис. 3 изображено кривой *1.*

В результате наложения этих двух одновременно протекающих процессов действительный ход изменения превышения нагрева изобразится кривой *3* (рис. 3), ординаты которой в любой точке равны сумме ординат кривых *1 и 2.* Уравнение кривой *3* является суммой уравнений (5) и (7):



1— *е*

(8)

Уравнения (5) и (7) являются частными случаями уравнения (8). Действительно, когда превышение на­грева в момент изменения нагрузки равно нулю (то = О), второй член в уравнении (8) пропадает и мы получаем уравнение (5). Когда же в результате изменения (отключения) нагрузки установившееся превышение на- 14

грева должно стать равным 'нулю (ту = 0), в уравне­нии (8) пропадает первый член и мы получаем уравне­ние (7).

С помощью уравнения (8) и данных приложений 1, 2 можно подсчитать и построить кривые изменения пре­вышений нагрева не только тогда, когда одна длитель­ная нагрузка сменяется другой длительной нагрузкой, но и когда нагрузка изменяется относительно быстро и нагрев проводника не успевает достигать установив­шейся величины.

**Пример 6.** При обследовании действующей трехфазной линии, питающей 154 электродвигателя металлообрабатывающих станков с общей установленной мощностью 370 *кет,* 380 *в* и суммой номи­нальных токов 795 *а,* за наиболее загруженную смену был зафикси-



Рис. 4. График нагрузки трехфазной линии, пи­тающей 154 электродвигателя металлообрабаты­вающих станков с общей установленной мощ­ностью 370 *кет,* 380 *в* и средневзвешенным cos Ф = 0,5.

рован график нагрузки этой линии, показанный на рис. 4. Нагрузка измерялась (записывалась) с помощью счетчиков киловатт-часов через ка?кдые 10 *мин.* Предположено, что в пределах каждого деся­тиминутного интервала нагрузка постоянна (не изменялась). Средне­взвешенное значение коэффициента мощности этой нагрузки от ин­тервала к интервалу колебалось незначительно, и без большой по­грешности оказалось возможным принять его равным cos Ф=0,5.

Необходимо решить, можно ли эту трехфазную линию выпол­нить из трех алюминиевых проводников сечением по 95 *мм2,* про­ложенных в одной водогазопроводной трубе, если для такой линии, по данным ПУЭ (§ 1-3-8 и табл. 1-3-2), длительо допустимая на­грузка /н = 200 *а* при температуре среды Фер=25° С и длительно допустимом нагреве •Он = 65° С.

Надо проверить, не будут ли такие проводники нагреваться чрезмерно, или, наоборот, не будут ли они нагреваться мало (плохо использоваться).

Решение. Нагрузка меняется через каждые 10 *мин,* т. е. **в** такие моменты времени, когда превышение нагрева То проводни­ков не равно нулю. Следовательно, расчет надо вести для каждого десятиминутного интервала по полному уравнению (8). Исключение составляет первый десятиминутный интервал, о котором подробнее сказано ниже.

Чтобы облегчить расчет, сводим его в табл. 3, в которой данные столбцов 1—3 имеют вспомогательное значение, а данные столбцов

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Десяти минутный интервал (часы суток) | Нагрузка в этом интер­вале, /, *а* |  | **ТУ** | (1-е ч | I 11 1F \*о | **! J****• е** *Т =* | 1= ч |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| От 7.30 до 7.40. 7.40 » 7.50 | ПО но 144 | 0,550,550,72 | 121221 | 0,3080,3080,308 | 03,76,3 | 0,6920,6920,692 | 3,76,310,9 |
| . 7.50 | » 8.00 |
| . 8.00 | . 8.10 | 200 | 1,00 | 40 | 0,308 | 10,9 | 0,692 | 19,8 |
| . 8.10 | . 8.20 | 175 | 0,875 | 31 | 0,308 | 19,8 | 0,692 | 23,3 |
| , 8.20 | . 8.30 | 180 | 0,90 | 32 | 0,308 | 23,6 | 0,692 | 26,0 |
| , 8.30 | » 8.40 | 210 | 1,05 | 44 | 0,308 | 26,0 | 0,692 | 31,6 |
| . 8.40 | . 8.50 | 225 | 1,13 | 51 | 0,308 | 31,6 | 0,692 | 37,8 |
| . 8.50 | » 9.00 | 270 | 1,35 | 73 | 0,308 | 37,8 | 0,692 | 48,6 |
| . 9.00 | » 9.10 | 165 | 0,825 | 27 | 0,308 | 48,6 | 0,692 | 41,9 |
| , 9.10 | . 9.20 | 190 | 0,95 | 36 | 0,308 | 41,9 | 0,692 | 40,0 |
| . 9.20 | . 9.30 | 195 | 0,98 | 38 | 0,308 | 40,0 | 0,692 | 39,3 |

4—8 соответствуют величинам, входящим в уравнение (8). Запол­нение табл. 3 ведем следующим образом:

Столбцы 1 и 2. В эти столбцы вписываем часы суток, **со­**ответствующие каждому рассматриваемому десятиминутному ин­тервалу времени, и заимствованные из графика рис. 4 соответст­вующие им значения нагрузок *I.*

Столбец 3. На основе данных *I* из столбца 2 и учитывая, что по заданию /н = 200 *а,* мы для каждого интервала подсчиты­**ваем** значения *I: /н.*

Столбец 4. Учитывая, что по данным заданиям и уравне­нию (1) тУн=^н—$ср = 65—25=40° С, мы, пользуясь уравне­нием (4) и данными столбца 3, находим для каждого десятиминут­ного интервала значение той установившейся величины превышения нагрева ту, которого достигли бы проводники, если бы нагрузка рассматриваемого десятиминутного интервала не изменялась долго.

Столбцы 5 и 7. По приложению 1 находим, что для алюми­ниевых проводов сечением 3x95 *мм2,* при прокладке их в одной трубе, постоянная времени нагрева /=0,85 • 32=27 *мин.* Следова­тельно, учитывая, что в рассматриваемом графике все интервалы одинаковы и равны /=10 *мин,* получаем для каждого из них *t: Т=* 10 : 27 = 0,37 и по приложению 2 находим:

**/ \_ \_£\_\ \_\_\_L**

\1 — *е* у = **0,308; *е* Т =0,692.**

Столбец 6. Величину превышения нагрева, которого до­стигли проводники в момент изменения нагрузки, т. е. в начале каждого десятиминутного интервала (to), определяем следующим образом:

для первого интервала в первом приближении мы предпола­гаем, что до начала рассматриваемого графика проводники долго не были нагружены током, следовательно, их температура равна температуре среды, т. е. То=О;

для каждого последующего интервала величина То, очевидно, равна тому превышению нагрева Т/, которого достигли проводники к концу предыдущего интервала (см. столбец 8).

Столбец 8. Располагая данными столбцов 4—7, мы легко можем выполнить расчет по уравнению (8) и определить величину превышения нагрева *xt* проводников к концу каждого десятиминут­ного интервала.

В табл. 3 этот расчет для краткости показан только для первых 12 интервалов графика. Результаты расче­тов для этих и всех остальных интервалов графика изо­бражены в виде кривой *1* на рис. *5,*

*Из* условия задачи известно, что рассматриваемый график соответствует периоду наибольшей ожидаемой нагрузки. Поэтому, если бы мы были уверены, что эта наибольшая нагрузка наступает лишь в момент, когда превышение нагрева проводника равно нулю (например, лишь в начале утренней смены, после перерыва на ноч­ную смену), и что в остальное время нагрузка ниже, то мы могли бы уверенно сказать, что выбранные провод­ники недостаточно хорошо используются по нагреву; здесь, по-видимому, можно было бы выбрать провод­ники несколько меньшего сечения, если бы стандарт **не** ограничивал наши возможности выбора ближайшим чересчур малым сечением 70 *мм2.* Однако в данном слу­чае уверенно сделать такой вывод на основании условий задачи нельзя. Наоборот, можно предположить, что в начальный момент первого интервала нагрузки пре-

вышение нагрева проводника то не будет равно нулю, а будет равно То~тн = 40°С. Если пересчитать данные табл. 3, приняв, что в начале первого интервала на­грузки проводник имел превышение нагрева то=40° С, мы получим данные, приведенные в табл. 4 и изобра­женные кривой *2* на рис. 5. В этом случае оказывается, что выбранные проводники, по-видимому, удовлетори- тельно используются по нагреву и в то же время значи­тельно не перегреваются сверх величин, длительно допу­стимых по нормам.



Рис. 5. График изменения превышения нагрева алюминиевых про­водников 95 *мм2,* проложенных в одной водогазопроводной трубе, трехфазной линии, загруженной по графику рис. 4.

/ — при отсутствии предшествующего нагрева проводников (То = О); *2* — при предшествующем нагреве, равном длительно допустимому по нормам

(То = 40° С).

Из рассмотрения кривых *1* и *2* рис. 5 можно сделать еще один существенный вывод. При расчете нагрева проводников, длительно работающих с переменным графиком нагрузки, в общем случае практически без­различно, правильно или не правильно наше произволь­ное предположение о том, что в начальный момент рас­чета превышение нагрева проводников было равно То = О (табл. 3 и кривая *1* рис- 5), То = 4О°С (табл. 4 и кривая *2* рис. 5) или То равно любой другой, практиче­ски возможной величине. Все равно к концу отрезка времени, равного примерно (3—4)7 от начальной точки отсчета, результаты расчета практически совпадают (кривые *1* и *2* на рис. 5 сливаются). Только в пределах этого отрезка времени, (3—4)7, наше произвольное до­пущение может привести к заметной ошибке. Поэтому *18*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Десятиминутный интервал (часы суток) | Нагрузка в этом интер­вале, *I, а* | ':'н | 1 i 1**‘'у** | 1' 1• (1— *е Т ) +*11 | 1 111*• е Т =* | 111= |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 1 | 6 | 7 | 8 |
| От 7.30 до 7.40 | НО | 0,55 | 12 | 0,308 | 40 | 0,692 | 31,3 |
| „7.40 „ 7.50 | по | 0,55 | 12 | 0,308 | 31,3 | 0,692 | 25,3 |
| . 7.50 . 8.00 | 144 | 0,72 | 21 | 0,308 | 25,3 | 0,692 | 24,0 |
| „ 8.00 „ 8.10 | 200 | 1,00 | 40 | 0,308 | 24,0 | 0,692 | 28,9 |
| „ 8.10 . 8.20 | 175 | 0,875 | 31 | 0,308 | 28,9 | 0,692 | 29,6 |
| „ 8.20 „ 8.30 | 180 | 0,90 | 32 | 0,308 | 29,6 | 0,692 | 30,4 |
| » 8.30 „ 8.40 | 210 | 1,05 | 44 | 0,308 | 30,4 | 0,692 | 34,6 |
| . 8.40 , 8.50 | 225 | 1,13 | 51 | 0,308 | 34,6 | 0,692 | 39,8 |
| „ 8.50 . 9.00 | 270 | 1,35 | 73 | 0,308 | 39,8 | 0,692 | 50,1 |
| . 9.00 „ 9.10 | 165 | 0,825 | 27 | 0,308 | 50,1 | 0,692 | 43,0 |
| . 9.10 „ 9.20 | 190 | 0,95 | 36 | 0,308 | 43,0 | 0,692 | 41,0 |
| . 9.20 . 9.30 | 195 | 0,98 | 38 | 0,308 | 41,0 | 0,692 | 40,1 |

в тех случаях, когда по каким-то причинам требуется

точно определить нагрев проводников именно в началь­ный период графика нагрузки, необходимо возможно более точно установить, какую величину превышения

нагрева то имели проводники к моменту начала расчета.

1. Старение изоляции

На практике редко встречаются установки, в кото­рых нагрузка долго не изменяется по величине. Как правило, она изменяется более или менее быстро и при­том в значительных пределах. Пример реального графика рис. 4 в этом отношении может считаться нор­мальным. По этой причине нагрев проводников обычно тоже непрерывно меняется, как это показано на примере рис. 5. В этих условиях без учета степени старения изо­ляции, работающей то при повышенных, то при по­ниженных нагревах, трудно оценить, с какой длительно допустимой нагрузкой необходимо выбрать проводники, чтобы в рассматриваемой установке они были хорошо использованы и в то же время долго не теряли свою изоляцию из-за чрезмерных нагревов.

Старение изоляции оценивается в относительных единицах. За единицу принимается старение, соответ­ствующее длительной работе при температуре, допу­скаемой нормами. Для расчетов обычно пользуются

простым правилом, известным под наименованием «вось­миградусное правило».

Оно основано на общем физико-химическом законе, согласно которому каждые дополнгиельные 8° нагрева ускоряют физические и химические процессы в 2 раза. Применительно к закону относительного старения изо­ляции это значит, что каждые дополнительные 8° на­грева ускоряют старение (сокращают срок жизни) изо­ляции в 2 раза. Так, например, известно, что провода с резиновой изоляцией по нормам допускают длитель­ное превышение нагрева 40° над температурой среды 25°. Если скорость старения изоляции при таком превыше­нии нагрева принять за единицу, то при превышении нагрева 48° скорость старения будет 2(48^40):8=2; при 56° скорость старения будет равна 2(56-40)’8 = 22 — 4; при 64° С имеем 2(64~40):8 =23 = 8 и т. д. Это значит, что, работая длительно при таких превышениях нагрева, провод соста­рится соответственно в 2, 4, 8 и т. д. раз быстрее, чем при длительной работе с превышением нагрева 40° С.

В общем виде этот закон относительного старения изоляции может быть выражен уравнением

// — &ж.н):8 — ^н):8, **(9)**

где *И —* относительное старение, т. е. величина, показы­вающая отношение скорости износа изоляции при дли­тельной реально имеющейся нагрузке к скорости износа при длительной нагрузке по нормам, принятой за еди­ницу;

Фж и Фж.н — температура жил соответственно факти­ческая и длительно допустимая по нормам;

т и тн—превышение нагрева соответственно факти­ческое и длительно допустимое по нормам.

**Пример 7.** Провод с резиновой изоляцией, для которого &ж.н = = 65° С (th == 40°’С), в течение 1 *ч* нес нагрузку с установившейся температурой, равной = 97° С, что при расчетной температуре сре­ды &ср.н = 25° С соответствует превышению нагрева 97—25=72 °C . Определить относительное старение.

Решение. Находим по (9):

*И* = 2‘97~65):8 = 2(72“40):8 = 24 = 16.

Это значит, что за 1 *ч* (день, месяц, год) работы при таком нагреве провод состарится так, как будто он работал 16 *ч* (дней, месяцев, лет) при обычном нагреве, допускаемом нормами дли­тельно.

При переменном графике с разными значениями на­грузок на разных его интервалах старение изоляции будет таким же, как при работе с длительно допусти­мой нагрузкой по нормам, если соблюдается условие

*И И* 2^4" • ' ■ *ntn \** 1

(10)

где *И —* общее относительное старение изоляции за весь рассматриваемый интервал времени длительностью *t\ И\, И2, Ип —* относительное старение, подсчитанное по (9) для каждого из интервалов графика нагрузки дли­тельностью /i, *t2, 'tn.* а / = /1 *+t2+ ... + tn.*

Если в итоге расчета по (10) получим Я>1, то это значит, что при данном графике нагрузки выбранные проводники чрезмерно нагреваются и их изоляция будет стариться быстрее обычного в *И* раз и, наоборот, при *И<Л* она будет стариться медленнее обычного, что сви­детельствует о недостаточном использовании проводни­ков.



**Пример 8.** Для облегчения подсчета старения изоляции рас­смотренных в примере 6 проводников 3X95 *мм2* с длительно до­пустимой нагрузкой 200 *а* при их работе с переменной нагрузкой по графику рис. 4 и соответствующими этой нагрузке превышения­ми нагрева по кривой *2* рис. 5 заменяем эту кривую эквивалентным

Рис. 6. Эквивалентный график изменения превышения нагрева про­водников, построенный по графику рис. 5 для подсчета относитель­ного старения изоляции.

ступенчатым графиком (рис. 6). Этот график строится таким об­разом, чтобы площадь, ограничиваемая каждой его прямоугольной ступенью и линией длительно допустимого превышения температу­ры по нормам (40° С на рис. 6), была равна соответствующей пло-

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер интервала по прямо­угольному графику рис. 6 | Продолжи­тельность интервала, *t, мин* | Среднее превышение фактического нагрева в рас­сматриваемом интервале т, °C | (т—40) : 8 | *И=^~4°): 8* | *И t, мин* |
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| *1* | 70 | 30 | —1,25 | 0,42 | 29,5 |
| *2* | 10 | 40 | 0,00 | 1,00 | 10,0 |
| *3* | 20 | 48 | + 1,00 | 2,00 | 40,0 |
| *4* | 30 | 42 | +0,25 | 1,19 | 35,6 |
| *5* | 20 | 38 | —0,25 | 0,84 | 16,8 |
| *6* | 40 | 46 | +0,75 | 1,68 | 67,2 |
| *7* | 30 | 40 | 0,00 | 1,00 | 30,0 |
| *8* | 10 | 30 | —1,25 | 0,42 | 4,2 |
| *9* | 40 | 20 | —2,5 | 0,176 | 7,1 |
| *10* | 50 | 17 | —2,88 | 0,134 | 6,7 |
| *11* | 30 | 30 | —1,25 | 0,42 | 12,6 |
| *12* | 10 | 40 | 0,00 | 1,00 | 10,0 |
| *13* | 60 | 42 | +0,25 | 1,19 | 71,6 |
| *14 -* | 30 | 40 | 0,00 | 1,00 | 30,0 |
| И т о г о | 450 |  |  | — | 381,3 |

щади, ограничиваемой участком кривой, которую прямоугольная ступень заменяет. Затем для каждой ступени графика определяется относительный износ изоляции по уравнению (9), как это показано в табл. 5. Чтобы определить общий износ за всю смену по урав­нению (10), суммируем все данные *Mt* по столбцу 6 табл. 5 и делим их на сумму значений *t* по столбцу 2, получаем:

381,3

450

0,85.

Следовательно, несмотря на то, что превышение на­грева рассматриваемых проводников при такой загрузке в отдельные моменты времени достигает 50° С вместо длительно допустимых по нормам 40° С, результирую­щая величина старения изоляции за всю смену состав­ляет всего лишь 85% от величины старения, допускае­мого нормами, т. е. от той величины старения, которая имела1 бы место, если бы превышение нагрева провод­ников было все время одинаковым и равным 40° С.

Повторив такой же расчет, но при условии, что в примере 6 были бы применены проводники с длитель- 22

но допустимой нагрузкой не 200 *а,* а 194 *а,* мы легко убе­дились бы, что такие проводники при работе с фактиче­ской нагрузкой по графику рис. 4 нагреваются несколько выше и относительное старение их изоляции равно почти точно единице, т. е. они используются полностью. В этом случае мы можем зафиксировать, что для обследован­ной трехфазной линии наблюдался коэффициент спроса по току, равный *КСг =* 194 : 795 = 0,245.

**Пример 9.** Интересен рассмотренный выше пример 5. При сквозном коротком замыкании превышение нагрева жил кабеля практически мгновенно достигло 200° С. Процесс снижения этого превышения от 200° С до нуля после отключения тока подсчитан в примере 5 и изображен кривой на рис. 7. Требуется подсчитать относительный износ изоляции за время охлаждения.



Рис 7. Основной и эквивалентный графики остывания жил кабеля после отключения тока сквозного короткого замыкания.

Решение. На оси абсцисс откладываем одинаковые, воз­можно малые отрезки времени; из этих точек восстанавливаем перпендикуляры; кривая заменяется ступенчатым графиком таким образом, чтобы каждый прямоугольный участок графика (напри­мер, *ОАБВГО* на рис. 7) был равновелик по площади тому огра­ниченному кривой участку, который он заменяет (например *ОАБДОу,* для каждой ступеньки прямоугольного графика по мас­штабу определяем среднее для этой ступени превышение нагрева жилы и по уравнению (9) — относительный износ. Помножив фак­тическое время по графику на величину относительного износа, определяем относительное время, «прожитое изоляцией». Результа­ты расчета сводим в табл. 6. Он произведен только для первых

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ступень графика по рис. 7 | Фактическое время по графику, *t, мин* | Среднее превышение нагрева жилы т, °C | Длительно допустимое превышение нагрева жилы по нормам тн, °C | Относительное старение изоляции по уравнению (9), *И* | Относительное время .прожитое изоляцией\*, *И t, ч* |
| *1* | 7,5 | 193 | 65 | 2(193-65) : 8 16 | 7 916’бО -8190 |
| *2* | 7,5 | 153 | 65 | 2(153-65): 8 =9П |  |
| *3* | 7,5 | 105 | 65 | 2(105-65) :8 ==25 | 7,5-2560 ~4 |
| *4* | 7,5 | 73 | 65 | 2(73—65) : 8 2 | 7,5-260 —0,25 |
| Итого | 30 *мин=\* --=0,5 *ч \* | 1 - | — | — | | 8 450 *ч* |

четырех ступеней графика. Дальнейший подсчет лишен смысла, так как он практически заметных уточнений внести не может. Из этого подсчета видно, что за 0,5 *ч* снижения превышения нагрева жил кабеля от 200 примерно до 65° С изоляция состарится так, как будто кабель нес нормальную длительно допустимую по нормам нагрузку с длительно допустимым превышением нагрева по нормам тн^80—15=65° С в течение 8 450 *ч* подряд. Иначе говоря, относи­тельное старение изоляции по уравнению (10) в этом случае равно //=8 450: 0,5=16 900.

При оценке старения изоляции по уравнениям (9) и (10) необходимо учитывать следующее.

Закон старения изоляции в изложенном виде (8-гра­дусное правило) и подсчеты по уравнениям (9) и (10) полностью действительны только для области относи­тельно небольших температур. При больших превыше­ниях нагрева, подобных рассмотренным в примере 9, эти подсчеты приводят к преувеличенным значениям износа. Тем не менее даже в этих случаях можно этими подсчетами пользоваться для относительного сопостав­ления вариантов.

Ни при каких условиях не следует допускать нагрев проводников выше температур, указанных в табл. 7 даже и в том случае, когда проверкой по (9) и (10) установлено, что относительное старение изоляции за 24

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид и материал проводника | Длительно допустимая темпера­тура жил по нормам, г} ж .н’ °C | Кратковре­менно до­пустимая температу­ра жилы при. регу­лярных перегруз­ках, В'п, °C | Максимально допустимое г ревышение нагрева жилы по нормам при токе к. з, Ък.м- °C |
| 1. Шины и голые провода: медные  | 70 | 125 | 250 |
| алюминиевые  | 70 | 125 | 150 |
| стальные, непосредственно не соединенные с аппаратами . | 70 | 125 | 350 |
| стальные, непосредственно со­единенные с аппаратами . . | 70 | 125 | 250 |
| 2. Кабели с бумажной пропитанной изоляциейдо 3 кв  | 80 | 125 | с мед- с алю- ными миние- жила- выми ми жила­ми200 150 |
| 3. Кабели и гровода с резиновой изоляцией:обычной  | 55 | 100 | 150 | 150 |
| теплостойкой  | 65 | НО | 150 | 150 |
| 4. Провода с полихлорвиниловой изоляцией  | 70 | .— | 150 | 150 |

весь рассматриваемый период не выходит за пределы допустимого (не превышает единицы). При больших температурах могут быстро ухудшаться контакты, что приводит к местным недопустимо большим перегревам. А это в свою очередь может привести к порче изоляции или даже к ее воспламенению, а также к резкому сни­жению механической прочности проводников и их устой­чивости к токам короткого замыкания.

**ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ**

1. Типы предохранителей

Плавкие предохранители в настоящее время при­меняются почти исключительно только с закрытыми па­тронами. Открытые предохранители и предохранители в открытых сверху и снизу трубках почти полностью вы­теснены потому, что они не удовлетворяют требованиям

25



много места, так как расстояние между ними на» распре­

Рис. 8. Предохрани­тель типа ПР.

1. *—* фибровый корпус;
2. — контакт; *3 —* обой­ма; *4 —* плавкая встав­ка.

ристика этих предохранителей не­стабильна даже при перезарядке заводскими вставками. Это являет­ся их большим недостатком. При появлении дуги фибровая трубка

выделяет газы, деионизирующие

техники безопасности, обладают недостаточной комму­тационной способностью (т. е. способностью гасить дугу при больших токах короткого замыкания) и занимают

и в ящиках должно быть увеличено во избежание переброса дуги.

делительных щитах

Имеются два основных типа предохранителей с закрытыми па­тронами.

**Предохранители без наполните­ля,** по типу распространенных пре­дохранителей серии ПР2 (см. рис. 8 и приложение 3). Патроны этих предохранителей на номинальный ток 100 *а* и более имеют толстостен­ные фибровые трубки. На концы трубки плотно насажены латунные втулки для предотвращения ее раз­рыва. Плавкие вставки привинчи­ваются к ножам. Ножи закрепля­ются латунными колпаками, которые навинчиваются на упомянутые втулки. У патронов на номиналь­ные токи 15 и 60 *а* контактных но­жей нет; их заменяют сами колпач­ки, которые при завинчивании со­здают контакт с плавкой вставкой. Патроны предохранителей ПР2 лег­ко перезаряжаются. Однако у них контакт плавкой вставки с ножами патрона зависит от степени затяжки болта и потому защитная характе- дугу и создающие в патроне давление, достигаю­щее иногда 100 *ат.* Большое давление способствует быстрой деионизации дуги и эффективному ее гаше­нию, но предъявляет особые требования прочности к патронам. Поэтому эти предохранители практиче­

ски невозможно изготовить на коммутационную спо-

собность такую же, как у предохрани­телей с наполнителем (см. ниже), а при одинаковых размерах предо­хранители без наполнителя имеют много меньшую коммутационную спо­собность. Кроме того, они труднее в изготовлении, более дороги, тре­буют больше места и на них рас­ходуется много дефицитных материа­лов.

*а)*

**Предохранители с наполнителем,** по типу выпускаемых многими заво­дами предохранителей ПН2, напол­ненных кварцевым песком1 (рис. **9 и** приложение 4). Зерна наполнителя, обладая в сумме большой поверх­ностью, хорошо поглощают тепло, охлаждают газы и тем самым резко снижают давление в патроне в момент

Рис. 9. Предохранитель типа ПН2.

*а* — общий вид; б— детали; *1 —* нож; *2—*контактная шайба (приваренная к ножу); *3 — плавкая вставка; 4 —* место приваривания плавкой вставки к контактной шай­бе; *5 —* асбоцементная прокладка; *6 —* крышка предохра­нителя; 7 — фарфоровый корпус; *8 —* кварцевый песок;

*9 —* винты.

испарения вставки. Возникающая дуга в узких щелях с сильно развитой поверхностью охлаждения (в зазорах между песчинками) чрезвычайно' быстро деионизирует­ся и гасится настолько интенсивно, что ток не успевает достигнуть того наибольшего значения, которое имело бы место в защищаемой цепи при отсутствии в ней пре­дохранителя. Эти обстоятельства позволяют существен­но повысить коммутационную способность предохра­нителя, например в некоторых конструкциях даже с относительно непрочными патронами коммутационная способность доведена до 80 *ка* (действующее значение симметричной составляющей тока к. з.). Такая большая коммутационная способность в этих предохранителях получается потому, что вставка состоит из нескольких параллельных ветвей, расположенных в наполнителе таким образом, чтобы полностью использовать для охлаждения весь объем патрона. Во избежание ухуд­шения условий гашения дуги и увеличения давления в патроне наполнитель должен быть чист и иметь зерна с размерами, не выходящими за определенные пределы (указанные в заводской инструкции). Зерна кварца не должны содержать в заметных количествах примеси. За­грязнения и примеси в наполнителе при малых плавя­щих токах (при большом времени плавления1) способ­ствуют образованию токопроводящих мостиков, след­ствием которых может быть отказ предохранителя в отключении и его разрушение. Патроны таких предо­хранителей обычно выполняются из стеатита или из стеклоткани на теплостойких лаках. У предохраните­лей ПН2 патроны фарфоровые. Встречаются конструк­ции с патронами из стекла с очень низким коэффициен­том линейного расширения для предохранения от растре­скивания (разрушения) патрона при местных перегревах, возможных в момент плавления вставки. Плавкие вставки в этих предохранителях обычно припаиваются или привариваются на точечном аппарате к специаль­ному наконечнику у основания контактного ножа. Пере­зарядка таких предохранителей возможна только в ма­стерской. Но зато при зарядке их по инструкции и при применении надлежащих плавких вставок, изготовлен­ных заводом или по его чертежам, они обеспечивают высокую коммутационную способность, надежность ра­боты и стабильность защитной характеристики, т. е. все, что свойственно высококачественным, не кустарным, за- 28

щитным аппаратам. При этом такие предохранители дешевы, их конструкция относительно проста и не тре­бует большого расхода дефицитных материалов. Раз­меры таких предохранителей обычно малы, они могут безопасно располагаться близко друг к другу и потому занимают мало места на распределительных щитах и в ящиках комплектных устройств.

1. Пограничный ток, номинальный ток вставки
и испытательные токи

Пограничным током ^пог называется ток, при котором плавкая вставка в патроне плавится через промежуток времени, достаточный для достижения ею установив­шейся температуры. Время, необходимое для плавления вставки пограничным током, может быть относительно велико, но тем не менее очевидно, что ток, допускаемый для условий длительной эксплуатации, т. е. номиналь­ный ток вставки /в, должен быть меньше /пог во избежа­ние ложно-аварийных и к тому же частых отключений. С другой стороны, для получения хорошей защиты при малых перегрузках необходимо стремиться к тому, что­бы /в возможно меньше отличалось от /ПОг. Эти два про­тиворечивых требования в значительной мере опреде­ляют трудности конструирования хороших предо­хранителей, надежно работающих и в то же время осуществляющих хорошую защиту не только при корот­ких замыканиях, но и при малых перегрузках.

На практике выявлять значения /Пог трудно, так как это требует много1 времени. Тем более трудно при мас­совом выпуске предохранителей контролировать их со­ответствие определенному соотношению /ПОг •’ /в. Поэтому для каждого типа и конструкции предохранителя ГОСТ или техническими условиями устанавливаются опреде­ленные значения испытательных токов и длительность испытания. Эти показатели косвенно гарантируют, что /пог: /в будут соответствовать установленным для дан­ной конструкции значениям. Так, например, в ГОСТ 3041-45, которому соответствуют предохранители ПР2, указано, что плавкие вставки не должны плавиться при нижнем значении испытательного тока и должны пла­виться при верхнем его значении при длительности его приложения, указанной в табл. 8.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номинальный ток вставки *I в> а* | Длитель­ность при­ложения испыта­тельного тока, *ч* | Испытательный ток, *а* |
| Нижнее значение | Верхнее значение |
| 6 и | 10 | 1 | 1,5/в | 2,1 /в |
| 15, | 20 и 25 | 1 | 1,4/в | 1,75/в |
| От | 35 до 350 включительно | 1 | 1,3/в | 1,6/в |
| От | 430 до 1 000 включительно | 2 | 1,3/в | 1,6/в |

По ГОСТ 7541-55, которому соответствуют предохра­нители ПН2, для всех вставок от 30 до 600 *а* включи­тельно длительность приложения испытательного тока равна 1 ч, нижнее значение испытательного тока 1,3/в, а верхнее значение 1,6/в.

С достаточной точностью можно считать, что /Ш)г равно среднему значению между нижним и верхним зна­чениями испытательного тока.

1. Материал плавких вставок

Плавкие вставки изготовляются из меди, цинка, свинца или серебра. Основные технические данные этих материалов под углом зрения их применимости для плавких вставок приведены в табл. 9.

Таблица 9

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал плавких встаяок | Удельный вес, г/слР | Температура плавления при нормаль­ном даваении, °C | Электрическое сопротивление при 20° С, ***ОМ'ММ\*[М*** | Эксплуата­ционная темпера­тура1, °C |
| Медь  | 8,93 | 1 083 | 0,0175 | 250 |
| Цинк  | 7,10 | 419 | 0,06 | 200 |
| Свинец  | 11,34 | 327 | 0,22 | 150 |
| Серебро Медь с оловянным раство­ | 10,50 | 961 | 0,0155 | \* |
| рителем  | 8,93 |  | 0,0175 | \*♦\* |

\* Зависит от конструкции предохранителя.

\*\* Зависит от времени воздействия расплавленного оловянного растворителя, может расплавляться даже при температуре 280° С и менее.

\*\*\* Менее температуры плавления олова (232° С) и обычно около 200° С.

1 Под эксплуатационной температурой здесь подразумевается предельно до­пускаемая в современных предохранителях температура плавкой вставки при номи­нальном токе.

В современных наиболее совершенных предохрани­телях отдают предпочтение медным вставкам с оловян­ным растворителем. Широко распространены также цинковые вставки. Медные вставки для предохраните­лей наиболее удобны, просты и дешевы. Улучшение их характеристик достигается наплавлением оловянного шарика в определенном месте, примерно в середине вставки. Такие вставки применяются, например, в упо­мянутой серии насыпных предохранителей ПН2. Олово плавится при температуре 232° С, значительно меньшей, чем температура плавления меди, и растворяет медь вставки в месте соприкосновения с нею. Появляющаяся при этом дуга уже расплавляет всю вставку и гасится. Цепь тока оказывается отключенной.

Таким образом, наплавление оловянного шарика при­водит к следующему.

Во-первых, медные вставки начинают реагировать с выдержкой времени на столь малые перегрузки, на которые они при отсутствии растворителя вовсе не реа­гировали бы. Например, медная проволока диаметром 0,25 *мм* с растворителем расплавилась при температуре 280° С за 120 *мин.*

Во-вторых, при одной и той же достаточно большой температуре (т. е. при одинаковой нагрузке) вставки с растворителем реагируют много быстрее, чем вставки без растворителя. Например, медная проволока диа­метром 0,25 *мм* без растворителя при средней темпера­туре 1 000° С расплавилась за 120 *мин,* а такая же про­волока, но с растворителем при средней температуре только 650° С расплавилась всего за 4 *мин.*

Применение оловянного растворителя позволяет иметь надежные и дешевые медные вставки, работаю­щие при сравнительно низкой эксплуатационной темпе­ратуре, имеющие относительно1 малый объем и вес ме­талла (что благоприятствует коммутационной способ­ности предохранителя) и в то же время обладающие большим быстродействием при больших перегрузках и реагирующие с выдержкой времени на относительно малые перегрузки. Отношение /пог • /в У таких вставок относительно невелико (не более 1,45), что облегчает условия выбора проводников, защищаемых такими плав­кими вставками от перегрузок.

Цинк часто используется для изготовления плавких вставок. В частности, такие вставки применяются в упо-

минутой серии предохранителей ПР2. Вставки из цинка более устойчивы против коррозии. Поэтому, несмотря на относительно малую температуру плавления, для них, вообще говоря, можно было бы допустить такую же предельную эксплуатационную температуру, как для меди (250°С), и конструировать вставки с меньшим се­чением. Однако электрическое сопротивление цинка примерно в 3,4 раза больше, чем у меди. Чтобы сохра­нить ту же температуру, надо уменьшить потери энергии в ней, соответственно увеличив ее сечение. Вставка по­лучается значительно более массивной. Это> при прочих равных условиях приводит к понижению коммутацион­ной способности предохранителя. Кроме того, при мас­сивной вставке с температурой 250° С не удалось бы в тех же размерах удержать на допустимом уровне температуру патрона и контактов. Все это заставляет снизить предельную температуру цинковых вставок до 200рС, а следовательно, еще больше увеличивать сече­ние вставки. В итоге предохранители с цинковыми встав­ками при тех же размерах обладают значительно мень­шей устойчивостью к токам короткого замыкания, чем предохранители с медными вставками и оловянными растворителями.

1. Конструкция плавких вставок

Заводы обычно изготавливают плавкие вставки из нескольких параллельных проволочек или ленточек. При этом улучшаются условия охлаждения вставки, лучше используется весь объем патрона для рассеивания энер­гии дуги, уменьшается объем металла как в отдельных ветвях, так и во всей вставке в целом, увеличивается быстродействие при отключении токов короткого за­мыкания и улучшаются условия гашения дуги.

В плавких вставках обычно делают два и более узких коротких перешейка. При коротких за­мыканиях они представляют собой значительное сопротивление и ограничивают величину тока, умень­шают время отключения и увеличивают разрывную спо­собность. Это обусловливается тем, что дуги возникают прежде всего и обычно поочередно на перешейках, обла­дающих большими сопротивлёниями, сильнее грею­щихся, а не сразу по всему сечению на всей длине вставки. Такой ход процесса уменьшает перенаряжения, обычно возникающие при быстром плавлении вставки, 32

и «нагрев патрона предохранителя. Наоборот, при ма­лых токах перегрузки, т. е. при относительно больших временах- плавления, температура коротких перешейков благодаря интенсивному отсосу тепла урав­нивается с температурой остальной вставки и перешейки практически не уменьшают время действия предохрани­теля.

1. Защитные характеристики

Количество тепла, фактически выделяющегося в плав­кой вставке, пропорционально квадрату тока и ее со­противлению (/V), а количество тепла, потребное для плавления вставки,— величина постоянная. Поэтому чем больше ток, тем быстрее выделяется необходимое количество тепла и тем быстрее плавится вставка. При одном и том же токе быстрее расплавится вставка на меньший номинальный ток, так как ее сечение меньше, сопротивление больше и при том же токе в ней выде­лится больше тепла, а масса металла в ней, наоборот, меньше, и для его плавления требуется меньше тепла.

Под защитной характеристикой предохра­нителя подразумевается зависимость полного времени отключения (продолжительность расплавления плавкой вставки плюс продолжительность горения дуги) от ве­личины отключаемого тока. Защитные характеристики принято изображать в виде кривых, подобных пред­ставленным на рис. 10'. На горизонтальной оси отложена кратность тока перегрузки или короткого замыкания по отношению к номинальному току плавкой вставки. На вертикальной оси — время отключения *t.* Например, на рис. ГО (сплошная кривая) видно, что- предохранитель отключает двукратный ток приблизительно' через 2,5 *мин,* пятикратный ток — через 1,0 *сек,* десятикратный ток — через 0,05 *сек.* Такая характеристика с указанием на го­ризонтальной оси кратности токов является типовой. Она относится не к одной плавкой вставке, а к целой серии подобных друг другу плавких вставок на разные номинальные токи. Когда же необходимо судить о каж­дой плавкой вставке отдельно, на горизонтальной оси откладывается не кратность тока перегрузки, а абсолют­ная величина тока в амперах и для каждой вставки дается отдельная кривая зависимости времени отключе­ния от тока. В итоге получается семейство защитных характеристик подобно указанному на рис. 11 для пре­дохранителей серии ПН2.

При пользовании защитной характеристикой предо­хранителя, изображенной в виде одной тонкой линии, необходимо иметь в виду, что она дает средние зна­чения времени отключения при данном токе. В дей­ствительности имеют место существенные отклонения



Рис. 10. Типовая защитная характеристика предохрани­телей серии ПН2.

от этих средних значений за счет производственных до­пусков в самом материале плавких вставок, в их изго­товлении, за счет качества контактов и старения в про­цессе эксплуатации материала плавких вставок. Эти отклонения могут в крайних случаях наиболее неблаго­приятного сочетания всех факторов достигать ±50%. Поэтому защитную характеристику каждой плавкой вставки в действительности следовало бы изображать **в** виде широкой полосы, в пределах которой лежит воз­можное время отключения. Этого не делают только для легкости изображения семейств кривых. Например, на рис. 10 возможное время отключения лежит в пределах, ограниченных пунктирными линиями: при двукратном токе—в пределах от 1,25 до 4,25 *мин,* а на основной характеристике показано среднее значение — 2,5 *мин;*то же при пятикратном токе — от 0,4 до 1,5 се/с, а на основной характеристике показано 1,0 *сек* и т. д.

С помощью уравнения (8) можно подсчитать, какой должна быть рекомендуемая защитная характеристика, чтобы, с одной стороны, во избежание частых перерывов



Рис. 11. Семейство защитных характеристик плавких вставок предо­хранителей серии ПН2. На кривых обозначены номинальные токи плавких вставок. Наибольшее мгновенное значение тока короткого замыкания, пропускаемого предохранителями ПН2-100 и ПН2-250, равно примерно 5 000 *а.* Плавкие вставки 200 и 250 *а* предохрани­теля ПН2-400 пропускают большие токи.

в электроснабжении кратковременные перегрузки не отключались слишком быстро, а с другой стороны, что­бы выдержки времени *t* до момента отключения пере­грузок не были чрезмерно большими и превышения на­гревов проводников *Xt* в момент отключения не были бы больше максимально допустимых величин тж.м по табл. 7.

Раскрыв в уравнении (8) скобки и сделав необходи­мые преобразования, находим:

t = 2,3T\%(

(И)

или, если обозначить

**^-=^=Л (1Г)**

**Ту —’ v 7**

получаем:

/-2,374g А (11")

В уравнении (11") постоянную времени нагрева *Т* находим для нужных нам проводников по приложе­нию 1, а величины *А* и lg4 определяем следующим образом.

Для проводов и кабелей с резиновой изоляцией известны: длительно допустимое превышение нагрева по нормам Ту.н=40°С; до момента появления перегрузки проводники были нагружены длительно допустимым то­ком по нормам («номинальным током»), следовательно, в момент появления перегрузки их превышение нагрева То==Ту.н=4О°'С; максимально допустимое превышение нагрева к моменту отключения тока (по табл. 7) т/ = ==Тж.м== 150 С.

Для кабелей с бумажной изоляцией при прокладке их в земле (6^=15°С) имеем: ту.н=®0—15=66° С; То= =65° С; tz = 200°C; для кабелей, проложенных в воздухе (Оср=|25°С), ту.н=55°С; т0=55°С и т, = 200°С.

По вышеуказанным данным и задавшись несколь­кими значениями кратности тока перегрузки *I*: /н, мы для каждой заданной величины перегрузки находим следующие данные: ту — по уравнению (4); *А —* по уравнению (11) и, наконец, lg4 — по таблицам из лю­бого справочника по элементарной математике.

Располагая значениями величин lg4 для разных кратностей тока перегрузки и зная постоянные времени нагрева проводников, уже нетрудно по уравнению (11") найти выдержку времени /, по истечении которой пере­грузка данной величины обязательно должна быть отключена во избежание чрезмерно большого повыше­ния нагрева проводников и быстрой порчи их изоляции.

Пример полного расчета величин IgX приведен в табл. 10 только для проводов с резиновой изоляцией. Для кабелей с бумажной изоляцией при прокладке их в земле и открыто в воздухе в этой же таблице при­ведены только конечные результаты расчета (значения lg4), необходимые для последующего пользования.

Результаты примеров расчета рекомендуемых за­щитных характеристик по уравнению (Ы") на основе 36

данных lg/1 из табл. 16 и значений *Т* из приложения 1 приведены для наиболее характерных линий в табл. ill. Указанные здесь допустимые выдержки времени отве­чают только одному условию: превышение нагрева про­водников в момент отключения перегрузки не должно быть больше тж.м по табл. 7. Необходимо, однако, счи­таться и с уровнем старения изоляции за время нагре­вания проводников перегрузкой и последующего их остывания после отключения перегрузки.

Таблица 10

Для проводов и кабелей с резиновой изоляцией: &ж н == 65° С &СРфН = 25°С; ту.н = 40° С; т0 — 40° С; Tf=150°C (по табл. 7)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| При 7:/н | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 20 |
| (/••/в)2 | 4 | 9 | 16 | 25 | 100 | 400 |
| ту по уравнению (4) | 160 | 360 | 640 | 1 000 | 4 000 | 16 000 |
| **ТУ ^0** | 120 | 320 | 600 | 960 | 3 960 | 15 960 |
| **Ту—Tf** | 10 | 210 | 490 | 850 | 3 850 | 15 850 |
| *А* по уравнению(11)lg *А* | 12,0 | 1,52 | 1,22 | 1,13 | 1,025 | 1,007 |
| 1,0792 | 0,1818 | 0,0864 | 0,0531 | 0,0107 | 0,0030 |

То же, но для кабелей с бумажной изоляцией, проложенных от­крыто в воздухе: &ж<п = 80°С; $Ср.н = 25°С; ту.н = 55°С; т0 = 55°С;

= 200° С (по табл. 7)

*\%А* 0,9191 0,1761 0,0828 0,0531 0,0107 0,0030

То же, но для кабелей с бумажной изоляцией, проложенных в земле: 0ж н = 80°С; 0ср.н — 15° С; тУеН — 65° С; т0 = 65°С; т< = 200°С (по табл. 7)

lg *А* | 0,5119 | 0,1303 | 0,0645 | 0,0414 | 0,0086 | 0,0021

На рис. 12 для примера показаны кривые нагрева и охлаждения проводников линии *2* из табл. 11.

При 20-кратной перегрузке превышение нагрева про­водников этой линии повысится от 40 до 150° С почти мгновенно (за 1,25 *сек).* Если в этот момент аппарат за­щиты отключит линию, то проводники начнут охлаж­даться и процесс охлаждения изобразится кривой /, рас­считанной по уравнению (7). Если для этой кривой по­считать относительное старение изоляции, как это по­казано в примере 5 (рис. 7), мы получим следующие данные: превышение нагрева снизится со 150 до 40° С за 210 *сек;* относительное старение изоляции за это время Я—400; это значит, что за эти 2jl0 *сек* изоляция состарится так, как она старится при длительно допу-

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № линий (сравни рис. 13) | Типы и сечения проводников, способ их прокладки и их постоянная времени *Т, сек* | Наибольшее время *t (сек),* по истечении которого аппарат защиты должен отклю­чить линию при кратности перегрузки*1 : /„* |
| 2 | 3 | **11****4** | 1 5 1 | 1 10 | 20 |
| 1 | Три провода с резино­вой изоляцией в одной во­догазопроводной трубе, сечением по 150 *мм2;* 7=41 лшн=2 460 *сек* | 6 100 | 1 030 | 490 | 300 | 60 | 17 |
| 2 | То же по 4 *мм2;**Т=3 мин—*180 *сек* | 446 | 75 | 36 | 22 | 4,4 | 1,25 |
| 3 | Трехжильный кабель с бумажной изоляцией, про­ложенный открыто в воз­духе, сечением 3X240 *мм2;* 7=90 лшн=5 400 *сек* | 11 400 | 2 200 | 1 020 | 660 | 125 | 48 |
| 4 | То же, но 3%4 *мм2;* 7=18 *мин—\* 080 *сек* | 2 300 | 440 | 205 | 132 | 25 | 7,5 |
| 5 | То же в земле, сече­нием 3X240 *мм2;* 7=45 *мин—2* 700 *сек* | 3 180 | 810 | 400 | 256 | 50 | 13,6 |
| 6 | То же, но 3X4 *мм2;* 7’=6 лшн=360 *сек* | 425 | 108 | 53 | 34 | 7,2 | 1,8 |

стимом превышении нагрева по нормам (ту.н=40оС) за время, равное (210-400) : 3 600 = 23,4 *ч.*

При двукратной перегрузке превышение нагрева про­водников той же линии повысится от 40 до 150° С за время, равное 446 (~450) *сек,* после чего аппарат за­щиты отключит линию и начнется охлаждение провод­ников. Процесс нагрева и последующего охлаждения в этом случае иллюстрируется кривой *2* рис. 12. Если и в данном случае посчитать относительное старение изоляции подобно изложенному выше, мы получим следующие данные: за время (450 *сек)* повышения на­грева от 40 до 150° С относительное старение изоляции Я=3 564; следовательно, относительное время, прожи­тое изоляцией, равно (450-3 554) : 3 600 = 444 *ч;* за все время (660 *сек)* нагрева до 150° С и последующего охлаждения до 40° С получаем *И = 2* 550 и относительное время, прожитое изоляцией, равно (660-2 550) : 3 60'0» ~467 *ч.*

Таким образом мы видим, что в рассмотренном слу­чае при выдержках времени указанных в табл. 11, старе- 38

ние изоляции за время отключения двукратной пере­грузки очень велико: относительное время, «прожитое» изоляцией за один такой период (467 *ч),* почти в 20 раз превышает относительное время, «прожитое» изоляцией за один период отключения 20-кратной перегрузки (23,4 *ч),* несмотря на то, что в обоих случаях превыше­ния нагрева проводников в момент отключения одина­ковы (150° С). Поэтому на практике в результаты рас-



Рис. 12. Нагрев и охлаждение при перегрузках проводов с резиновой изоляцией, 3X4 *мм2,* проложенных в трубах. *1 —* охлаждение после мгновенного превышения нагрева до 150° С при 20-кратной перегрузке; 2 — превышение нагрева до 150° С при двукратной перегрузке и последующее охлаждение; *3* — превыше­ние нагрева и охлаждение при отключении двукратной перегрузки через 150 *сек* после ее появления.

четов табл. 11 вносятся поправки таким образом, чтобы показанные там выдержки времени при больших пере­грузках (Ю-ч-20 /н) не изменились, а при малых пере­грузках чтоб они были существенно ниже. Обычно реко­мендуют, чтобы при двукратной перегрузке выдержка времени не превышала примерно 150 *сек,* а при 1,5-крат­ной перегрузке, во всяком случае, не превышала 600 *сек* (сравните с данными табл. 8). В этом случае, как пока­зано на рис. 12, превышение нагрева рассматриваемых проводников за 150 *сек* до момента отключения пере­грузки достигнет примерно 106° С (вместо максимально

ное время, прожитое изо­ляцией, окажется равным (300-56) : 3 600^4,7 *ч,* т. е. примерно в 100 раз меньше, чем в предыдущем случае.

допустимых 150° С) и процесс последующего охлажде­ния изобразится кривой *3* (рис. 12). В этом случае за все время роста превышения нагрева и последующего его снижения до 40° С (всего —300 *сек)* относительное старение изоляции *И* — 56 и, следовательно, относитель-

*с 6 К \MUH*

Рис. 13. Сопоставление расчет­ных защитных характеристик с фактической защитной ха­рактеристикой предохранителя. / — защитная характеристика пре­дохранителя ПН2 по рис. 10; *2—4 и 6 —* расчетные характеристики со­ответствующих линий по данным табл. 11; / — характеристика, реко­мендуемая для проводников всех типов и сечений, скорректирован­ная таким образом, чтобы при дву­кратных перегрузках выдержка времени не превышала примерно 150 *сек.*

На рис. 13 сопоставлены: расчетные характеристики по данным табл. И, харак­теристика, рекомендуемая для всех типов и сечений проводников, скорректиро­ванная в соответствии со сказанным выше по услови­ям старения изоляции за время отключения малых пе­регрузок и фактически имею­щаяся защитная характери­стика плавких предохрани­телей ПН2 по рис. 10. Из этого сопоставления можно сделать следующие выводы:

1. При одинаковой крат­ности тока перегрузки (/ : /н) для проводников малых се­чений по условиям предель­ного нагрева допустима зна­чительно меньшая выдерж­ка времени, чем для провод­ников того же типа, но больших сечений (сравните кривые *3* и *4* рис. 13).
2. При одинаково малых сечениях (например, 4 жж2)

наименьшие выдержки времени по условиям нагрева до­пустимы для проводов с резиновой и ей подобной изоля­цией, проложенных в трубах (кривая *2* рис. 13). Немно­го больше допустимые выдержки времени для кабелей, проложенных в земле (кривая *6),* и еще больше для кабелей, проложенных в воздухе (кривая *4).*

1. Плавкая вставка предохранителей ПН2, имеющая номинальный ток, равный номинальному току проводни­ка (т. е. его длительно допустимому току по нормам), от­ключает все токи от / = 2/н и более значительно быстрее, чем это требуется по условиям предельного нагрева да­же для проводников малых сечений. А токи большой величины такие плавкие вставки отключают даже в де­сятки раз быстрее, чем это необходимо. Поэтому в уста­новках со значительными пиками нагрузки (например, с пусковыми токами) плавкие вставки, выбранные по номинальному току линий, не в состоянии обеспечить бесперебойную работу.
2. В зоне двукратных перегрузок плавкие вставки с номинальным током, равным номинальному току про­водников, допускают чрезмерно большие выдержки вре­мени; проводники будут нагреваться выше допустимого предела и чрезмерно быстро стариться за время отклю­чения.
3. Аппараты с рекомендуемой защитной характери­стикой по кривой 7 рис. 13 будут надежно защищать от чрезмерных нагревов все виды проводников всех сечений при любых токах повреждений. При этом только провод­ники малых сечений при очень больших кратностях тока повреждения (104-20 /н) к моменту отключения будут нагреваться до допустимых максимальных пределов. Проводники больших сечений будут нагреваться значи­тельно меньше, поскольку выдержки времени по кри­вой 7 меньше выдержек, допустимых для этих провод­ников. В какой степени снижается превышение нагрева при уменьшении выдержки времени, можно ориентиро­вочно судить по примеру кривой *2* на рис. 12: при умень­шении выдержки времени с 450 до 45 *сек* (в 10 раз) пре­вышение нагрева вместо 150° С достигнет примерно 72° С (т. е. снизится всего лишь в 2 раза). Тем не менее это снижение нагрева существенно снизит относительное ста­рение изоляции за время действия защиты.

Факт снижения выдержек времени отключения при перегрузках, например с уровня кривой *3* (рис. 13) до уровня рекомендуемой кривой 7, не может служить при­чиной необоснованных частых перерывов в электроснаб­жении: сверхтоки большей длительности, чем это допу­стимо по кривой 7, не могут рассматриваться как пере­грузки, свойственные нормальным условиям эксплуата­ции, т. е. как перегрузки естественные, преходящие, не

подлежащие отключению; обычно это — сверхтоки по­вреждений в самой защищаемой линии. А в таких слу­чаях лучше отключать линию возможно скорее.

По указанным причинам защитная характеристика по кривой 7 (рис. 13) рекомендована для руководства при конструировании всех вообще аппаратов защиты проводников в электросетях до 1 000 *в.* Свойства плав­ких предохранителей таковы, что с их помощью добиться защитной характеристики, близкой к рекомендуемой, практически невозможно1. К каким средствам прибегают для повышения чувствительности плавких вставок к ма­лым перегрузкам, указывалось выше в § 10. В зарубеж­ной практике конструируются плавкие предохранители «быстродействующие» с защитными характеристиками, близкими к характеристикам предохранителей ПН2 (кривая /, рис. 13), и предохранители «замедленного действия» с характеристиками, обеспечивающими более высокие выдержки времени в области больших перегру­зок. Последние применяются для защиты сетей с боль­шими пиками нормальных нагрузок, в частности для за­щиты линий со значительными пиками пусковых токов.

1. Перезарядка патронов предохранителей

В табл. 12 показан набор плавких элементов, из ко­торых составляются плавкие вставки предохранителей ПН2. Они штампуются из медной фольги разной толщи­ны. Имеется всего три типа плавких элементов — одно-, двух- и трехленточные. Все они состоят из деталей оди­наковых размеров. Каждая ленточка элемента имеет в центре участок с наплавленным оловянным раствори­телем. По обеим сторонам растворителя выштампова- ны отверстия, создающие упомянутые в § 10 узкие пере­шейки. В табл. 13 показано, какие элементы и какое число их требуется для составления каждой плавкой вставки. Каждый элемент плавкой вставки должен быть определенным образом расположен в пространстве вну­три патрона предохранителя, чтобы обеспечить наилуч­шее использование объема наполнителя для охлаждения и гашения дуги. Поэтому элементы вставки должны при­вариваться на точечном аппарате (или припаиваться) к контактным шайбам предохранителя определенным образом, строго по инструкции завода. Приварка или припаивание обязательны для обеспечения стабильности защитной характеристики предохранителя и его комму- 42

Плавкие Элементы, из которых составляются плавкие вставки
предохранителей ПН2

№
п/п.

Заводское обозначение

Толщина
медной
фольги,
*мм*

Эскиз плавкого элемента



5БУ.594.061.1 5БУ.594.061.2 5БУ.594.061.3

0,1

0,15

0,2

5БУ. 594.060.1 5БУ.594.060.2 5БУ. 594.060.3

0,1 0,15 0,2



7

8

9

10

11

5БУ. 594.058.1 5БУ.594.058.2 5БУ. 594.058.3 5БУ.594.058.4 5БУ.594.058.5

0,1 0,15 0,2 0,25 0,3

Как № 8, но с прямыми кон­цами

5БУ.594.059

0,15

тационной способности в условиях длительной эксплуа­тации. Менее надежные способы осуществления контак­та между плавкой вставкой и контактными шайбами (или ножами) предохранителя недопустимы.

Перезарядка должна выполняться в мастерских, где могут быть обеспечены квалифицированное наблюдение и контроль за выполнением инструкции. Должны при­меняться элементы только заводского изготовления или изготовленные строго по его чертежам. Поверхности внутри патрона и контактных шайб должны быть тща­тельно очищены. Патроны, имеющие хотя бы волосяные трещины, не должны допускаться к сборке. Применя­емый для заполнения кварцевый песок должен отвечать определенным требованиям в отношении состава, быть

**Номера и число требуемых плавких элементов по табл. 12 для составления одной плавкой вставки предохранителей ПН**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ти л предохра­нителя | Номинальный ток плавкой вставки, *а* | Требуемые плавкие эле­менты | Тип предохра­нителя | Номинальный ток плавкой вставки, *а* | Требуемые плавкие элементы |
| № по табл.12 | Коли­чество, шт. | № по табл.12 | Коли­чество, шт. |
| ПН2-100 | 30 | 1 | 1 | ПН2-250 | 80 | м1 +2 | {+! |
|  | 40 | 2 | 1 |  | 100 | 8 | 1 |
|  | 50 | 4 | 1 |  | 120 | !+? | {+: |
|  | 60 | {+? | 1+1 |  | 150 | {+? | {+: |
|  | 80 | и | 1+1 |  | 200 | 8 | 2 |
|  | 100 | 12 | 1 |  | 250 | 8 | 3 |
| ПН2-400 | 200 | 8 | 2 | ПН2-600 | 300 | {+'? | {+? |
|  | 250 | +СИ ОО | {+? |  | 400 | 9 | 4 |
|  | 300 |  | {+? |  | 500 | 9 | 5 |
|  | 350 | 8 | 4 |  | 600 | 9 | 6 |
|  | 400 | 10 | 3 |  |  |  |  |

хорошо просушен, быть чистым, мелкозернистым и без посторонних примесей. Песок необходимо хорошо утря­сти путем постукивания по патрону деревянным стерж­нем и постепенно добавлять песок, пока патрон не будет наполнен доверху. Закупорка патрона должна быть плотной, исключающей возможность высыпания песка из патрона в любом его положении. Ни в коем случае не следует допускать к эксплуатации предохранители, пло­хо заполненные песком после их перезарядки: коммута­ционная способность таких предохранителей резко снижается и при пользовании ими возможны тяжелые аварии.

Патроны предохранителей без наполнителей также должны перезаряжаться тщательно, по инструкции заво­да-изготовителя и обязательно тоже только плавкими вставками заводского изготовления или выполненными *44*

по его чертежам. И в этих случаях необходимо строго следить за обеспечением возможно более надежного кон­такта между плавкими вставками и контактными шай­бами (или ножами).

Не следует допускать зарядку патронов медными проволоками взамен заводских плавких вставок. По­граничный и номинальный токи такой вставки, как и вся защитная характеристика предохранителя, в этом слу­чае имеют значения крайне неопределенные, зависящие от ряда факторов, иногда случайных. Проволока одного и того же диаметра может плавиться в разных патронах при совершенно различных значениях тока и с разной выдержкой времени. Кроме того, при таких кустарных вставках весьма вероятны местные перегревы, порча и даже разрывы патронов. Коммутационная способность таких предохранителей резко снижается. Они перестают быть калиброванными надежными защитными аппара­тами, могут взрываться, привести к авариям и даже угрожать опасностью для жизни людей.

Никто не рискнет зарядить предохранитель высокого напряжения случайно взятой медной проволокой вместо заводской вставки и никому на ум не придет требовать, чтобы конструкция патрона такого предохранителя дава­ла возможность быстрой перезарядки непосредственно на месте эксплуатации. В отношении же предохраните­лей в сетях до 1 000 в, к сожалению, укоренилось совер­шенно неверное представление, что для них такая «бы­страя перезарядка» случайными проволоками непосред­ственно на месте эксплуатации терпима. Дело доходит даже до того, что некоторые эксплуатационники оцени­вают серии предохранителей не по качеству и стабиль­ности их защитной характеристики, не по коммутацион­ной способности, не по безопасности, надежности, долго­вечности патрона и не по технико-экономическим пока­зателям, а почти исключительно по условиям их пригод­ности для «быстрой перезарядки». Между тем примене­ние некалиброванных предохранителей в сетях до 1 000 *в* может привести к столь же тяжелым последст­виям, как и в сетях высокого напряжения, а в сетях с за­земленной нейтралью они, кроме того, еще представляют значительную опасность для жизни людей.

В настоящее время уже нет оснований относиться снисходительно к этому явлению. Надо добиваться стро­жайшего выполнения требований § Ы-30 ПУЭ, чтобы

применяемые в электроустановках аппараты защиты соответствовали ГОСТ или техническим условиям, утвержденным в установленном порядке. На них долж­ны быть таблички с техническими данными, предусмот­ренными этими ГОСТ или техническими условиями. Экс­плуатация должна вестись таким образом, чтобы сгорев­шие предохранители могли быстро заменяться заранее подготовленными запасными предохранителями. А пе­резарядка патронов должна производиться только кали­брованными плавкими вставками в условиях мастер­ских, строго по инструкции завода и с должным контро­лем.

**ВЫБОР ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ**

1. Требования правил устройства электроустановок

Ниже поясняются основные требования ПУЭ [Л. 1] к устройству защиты плавкими предохранителями элек­трических сетей в установках до 1 000 *в.* Требования из­лагаются в той же последовательности, в которой они приведены в ПУЭ. В необходимых местах в скобках при­ведены ссылки на номера соответствующих параграфов этих правил.

1. Предохранители пробочного типа должны вклю­чаться в сеть таким образом, чтобы при вывинченной пробке винтовая гильза предохранителя оставалась без напряжения. Для этого защищаемый (отходящий) про­водник должен быть присоединен к винтовой гильзе (§ Ш-1-4).

Края винтовой гильзы легко доступны для прикосно­вения в момент ввинчивания и отвинчивания пробки. Менять пробки со сгоревшими плавкими вставками ча­сто приходится при недостаточном освещении, нащупы­вая гнездо рукой. Часто эту операцию приходится выпол­нять из неустойчивого положения на высоте, а в жилых домах это к тому же часто делают необученные люди. Если винтовая гильза при этом будет находиться под напряжением, то прикосновение к ней в неблагоприят­ных условиях грозит поражением электрическим током, а в других случаях — опасным испугом и падением с высоты. Поэтому подводящий энергию проводник, остаю­щийся под напряжением и после перегорания плавкой вставки, обязательно должен быть присоединен только 46

к контактному винту, расположенному на дне гнезда, гДе случайное соприкосновение с ним практически невоз­можно-, а к винтовой гильзе должен присоединяться про­водник, отходящий к электроприемнику (например, к лампе).

По этим же причинам ни в коем случае не следует допускать применения вместо стандартных предохрани­телей всякого рода проволочек. Это опасно не только по­тому, что нестандартная плавкая вставка может не за­щитить установку от воспламенения изоляции проводни­ков, но и потому, что при поисках пробки со сгоревшей вставкой иногда ошибочно вывинчивают соседнюю проб­ку, в которой оставшаяся в гнезде проволочка передает напряжение на винтовую гильзу, создавая опасность по­ражения людей током.

1. На корпусах предохранителей или на схеме, кото­рая должна вывешиваться вблизи места их установки, должны иметься надписи, указывающие номинальный ток требуемой плавкой вставки (§ Ш-1-5).

Патроны разборных предохранителей обычно допу­скают возможность встройки плавких вставок на разный номинальный ток. По остаткам сгоревшей плавкой вставки не всегда можно узнать, каков был ее номиналь­ный ток. Не исключено также, что в процессе эксплуата­ции в патрон была встроена случайная вставка или про­сто «жучок» (некалиброванная вставка, проволока).

При ревизии предохранителя или смене сгоревших плавких вставок необходимо знать, какие номинальные токи плавких вставок предусмотрены проектом (допу­стимы для защищаемой линии). Эти данные проще и легче всего указать для каждой защищаемой линии на схеме, которая должна быть помещена, например, на внутренней стороне дверцы щитка или на видном месте перед щитом подстанции.

При этом, разумеется, сделанные на схеме надписи, указывающие номера групп или назначение защища­емых линий, должны в точности соответствовать тем же номерам или надписям, которые нанесены у соответст­вующих аппаратов на самом распределительном устрой­стве.

В квартирах, где щитки с плавкими предохранителя­ми часто установлены не в ящиках, схема с надписями может скоро прийти в негодность. Поэтому здесь лучше всего указать требуемые номинальные\* токи плавких

вставок надписями маслявой краской на корпусах самих предохранителей.

1. Электрические сети должны иметь защиту от токов к. з. с минимальным временем отключения и обеспече­нием по возможности требования селективности (§ Ш-1-б).

Во всех ‘случаях надо стремиться к тому, чтобы токи к. з. отключались аппаратом защиты без выдержки вре­мени. Это уменьшает размеры повреждений, снижает опасность возгорания изоляции и возможных пожаров и снижает вероятность прожига металлических труб, в которых проложены провода, что особенно опасно в цехах со взрывоопасной средой.

Однако токи к. з. воздействуют не только на предо­хранители, ближайшие к месту повреждения, но и на все другие предохранители, установленные в той же цепи ближе к источнику питания. Если при этом у всех этих предохранителей мгновенно сгорали бы плавкие вставки, то это неизбежно приводило б к остановке большого числа электроприемников. Это всегда связано со значи­тельными убытками, с простоем оборудования, с рас­стройством технологического процесса и значительными неудобствами эксплуатации, поскольку отыскать место повреждения в таких условиях трудно. В некоторых слу­чаях такое массовое отключение электроприемников мо­жет быть само по себе опасно, так как оно может гро­зить, например, взрывом технологических аппаратов или образованием в них «козлов».

Отсюда возникает необходимость создания селектив­ной (избирательной) системы защиты, при которой плав­кие вставки ближайших к месту повреждения предохра­нителей отключают настолько быстро, что вставки пре­дохранителей, расположенных ближе к источнику пита­ния, не успевают расплавиться и остаются включенны­ми. А это обычно связано с неизбежной необходимостью иметь у предохранителей разных ступеней защиты раз­личные выдержки времени отключения тока к. з., тем больше, чем ближе предохранитель к источнику питания.

Таким образом, требование минимального времени отключения тока к. з. на практике может вступить в про­тиворечие с требованием выдержки времени для осу­ществления селективного действия защиты. Кроме того, селективная система защиты может в некоторых случаях потребовать повышения номинальных токов плавких 48

вставок и соответствующего увеличения сечений провод­ников.

Поэтому правила не требуют, чтобы отключение то­ков к. з. во всех случаях происходило обязательно мгновенно (без выдержки времени), так же как они не предписывают во всех случаях обязательно добиваться селективности. Они обязывают добиваться лишь мини­мального, т. е. наименьшего возможного времени отклю­чения и лишь по возможности удовлетворения требова­ний селективности. Надо по характеру рассматриваемой установки определять, что в данном случае важнее: до­биваться наибольшей быстроты отключения токов к. з., пренебрегая вероятными редкими неселективными от­ключениями, но зато лучше защищая установку от по­вреждений дугой и от прожига труб, или же, наоборот, добиваться селективности действия защиты, допуская для этого выдержки времени при отключении токов к. з. Во всех случаях эти выдержки должны быть по возмож­ности минимальными.

1. Защита должна обеспечивать отключение аварий­ного участка при двух- и трехфазных, а в сетях с глухо- заземленной нейтралью также при однофазных коротких замыканиях в конце защищаемой линии (§ Ш-1-6).

Не все уделяют должное внимание тому факту, что во многих случаях в сетях до 1 000 *в* токи к. з. могут оказаться чрезмерно малыми, недостаточными для при­ведения в действие аппарата защиты. Это может иметь место как при многофазных замыканиях в конце длин­ных линий, так и при однофазных замыканиях на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью в линиях обычной длины, поскольку активное и индуктивное сопротивления петли фаза-нуль могут оказаться большими. Так, напри­мер, от длинных магистралей в цеховых сетях или от магистралей, проложенных вдоль улиц поселков для электрификации домов, мощность отбирается на всем протяжении и по мере приближения к концу линии пере­даваемый ток все более и более снижается. Поэтому не­смотря на то, что в нормальном режиме потери напряже­ния в такой линии могут быть и не релики, ток к. з. в конце может оказаться недостаточным для расплавле­ния больших плавких вставок, выбранных по условиям загрузки первого участка! линии.

Во всех подобных случаях, когда токи к. з. оказыва­ются малыми, долго не отключаемая дуга может произ-

вести значительные повреждения оборудования и про­жиг труб. А в сетях с глухо заземленной нейтралью дол­го не отключаемое замыкание на заземленный корпус, как это уже отмечалось выше, кроме того, еще повышает опасность поражения людей электрическим током. По­этому правила и предписывают строить защиту таким образом, чтобы она надежно действовала при коротких замыканиях в конце защищаемой линии.

Добиваться этого следует путем приближения источ­ника питания к центру нагрузки, выбора соответствую­щей схемы распределения энергии, встройки в рассечку вышеупомянутых длинных магистралей плавких предо­хранителей на меньший номинальный ток, способных достаточно быстро реагировать на ток к. з. в конце ли­нии, и т. д. Лишь в крайних случаях для достижения этой цели можно прибегать к увеличению сечений защи­щаемых проводников.

1. При одно-, двух- и трехфазных коротких замыка­ниях в конце линии ток повреждения по крайней мере в 3 раза должен превышать номинальный ток плавких вставок, защищающих эту линию (§ Ш-1-6).

Значительные выдержки времени, как это указыва­лось выше в § 11, необходимы для исключения возмож­ности необоснованных и к тому же частых перерывов в электроснабжении при перегрузках, свойственных условиям нормальной эксплуатации, или даже при пере­грузках случайных, но кратковременных, проходящих. Но такие выдержки времени, как правило, вредны в тех случаях, когда необходимо отключать токи повреждений. Последние должны отключаться возможно быстрее для избежания больших повреждений в установке и сниже­ния опасности поражения людей током. Примирить эти два противоположных требования можно только в тех случаях, где токи повреждений настолько велики, что выдержки времени сами по себе оказываются малыми. Однако требовать, чтобы при коротких замыканиях в конце любой линии сети токи были столь велики, не це­лесообразно, во-первых, потому, что такие сети практи­чески трудно или даже невозможно выполнить и, во-вто­рых, потому, что в этих случаях токи к. з. в головных участках сети оказались бы чрезмерно большими. По­этому, чтобы необоснованно не удорожать установки, правила и ограничиваются требованием, чтобы токи повреждений были по меньшей мере в 3 раза больше 50

номинальных токов, защищающих линию плавких вста­вок.

Правила не требуют проверки выполнения этого тре­бования, если соблюдаются условия, изложенные ниже в п. 8.

1. По характеру требований к устройству защиты ПУЭ делят электрические сети в установках до 1 000 *в* на две группы:

сети, в которых обязательна только защита, автома­тически отключающая установку при коротких замыка­ниях; защита от перегрузок не обязательна i(§ Ш-1-7);

сети, в которых обязательно должны быть предусмот­рены и защита от коротких замыканий и защита от пере­грузок (§ Ш-1-9).

Такое деление основано на следующих соображениях.

Совершенно исключить вероятность аварийных замы­каний невозможно ни при каких условиях. Задерживать отключение таких замыканий лишено смысла, так как это может привести только к разрушению значительных частей установки и к выводу ее надолго из строя. Поэто­му правила и предписывают во всех без исключения слу­чаях предусматривать защиту, автоматически отключаю­щую установку при коротких замыканиях.

Иначе обстоит дело с перегрузками. Они тоже могут принести очень большой вред. Даже при относительно небольших перегрузках, как мы это видели выше, изоля­ция перегревается, сохнет и более или менее быстро ста­рится, после чего и при нормальной нагрузке тоже могут часто возникать короткие замыкания, перерывы в пита­нии и длительные простои. Тем не менее к немедленному выходу установки из строя перегрузки все же не приво­дят. Кроме того, появление перегрузок во многих слу­чаях крайне мало вероятно. Проводники ответвлений к одиночным электроприемникам не могут перегружать­ся там, где сами электроприемники защищены от пере­грузок своими аппаратами управления (например, маг­нитными пускателями), а проводники главных питаю­щих линий не могут перегружаться там, где имеется квалифицированный обслуживающий персонал, кото­рый >не допустит присоединения к ним чрезмерно боль­шого числа электроприемников. Единственная реальная возможность перегрузок проводников в таких случаях— это неполные короткие замыкания. Но место неполного замыкания обычно быстро перегревается и неполное

замыкание переходит в полное короткое замыкание, при­водящее к отключению соответствующих аппаратов раньше, чем испортится изоляция всей линии.

Поэтому, несмотря на опасность и большой вред длительных перегрузок, в правилах нет требований ста­вить такую защиту во всех без исключения случаях. В них имеется лишь перечень случаев, где такая защита обязательна. Тем не менее, учитывая, что защита от пе­регрузок всегда повышает степень надежности и долго­вечности установки и что ПУЭ не запрещают добиваться такой защиты также в других случаях, на практике всегда стремятся такую защиту иметь, особенно если это не приводит к необходимости заметного повышения ка­питальных затрат.

1. Номинальные токи плавких вставок предохраните­лей, служащих для защиты отдельных участков сети, во всех случаях следует выбирать по возможности мини­мальными по расчетным токам этих участков сети или номинальным токам электроприемников, но таким обра­зом, чтобы они не отключали электроустановку при пу­сковых токах и пиках технологических нагрузок (§ Ш-1-7 и Ш-1-10).

В ПУЭ указываются наибольшие допустимые соотно­шения между номинальными токами плавких вставок и длительно допустимыми нагрузками проводников защи­щаемой линии (см. ниже п. 8). Здесь подчеркивается, что эти соотношения нельзя рассматривать как допуска­емые правилами в любых вообще случаях. Они являют­ся **предельно допустимыми.** Их ни в коем случае нельзя превышать, а допускать их можно только в тех случаях, где это продиктовано необходимостью. Вообще же во всех случаях следует выбирать возможно меньшие плав­кие вставки, такие, какие необходимы и достаточны для обеспечения бесперебойной работы. Выбрать такие плав­кие вставки можно, руководствуясь указаниями, при­веденными ниже в § 14. Пользоваться для этой цели заранее заготовленными таблицами, в которых против каждого сечения проводников указана допустимая по нормам наибольшая величина плавкой вставки, не реко­мендуется: надо выбирать не наибольшую допустимую по нормам, а наименьшую допустимую по условиям бес­перебойности работы.

1. В сетях, защищаемых только от токов короткого замыкания (для которых защита от перегрузки не обя- 52

зательна), допускается не проверять, выполняется ли указанное выше в п. 5 требование кратности тока к. з., если номинальный ток выбранных плавких вставок /в не превышает длительно допустимую нагрузку защищаемых проводников /пр более чем в 3 раза (§ Ш-1-7):

/в: /ПР<3. (12)

Из этого указания правил вытекает, что в сетях, где обязательна защита только от токов к. з., можно для защиты проводников выбирать сколь угодно большие плавкие вставки, лишь бы расчетом было доказано, что при любом виде короткого замыкания в конце защища­емой линии ток будет превышать номинальный ток плав­кой вставки не менее чем в 3 раза. И только в тех слу­чаях, где проверка расчетом кратности тока к. з. не вы­полняется, правила не разрешают применять плавкие вставки большие, чем трехкратные.

Тем не менее допускать применение более чем трех­кратных вставок даже при выполнении расчетной про­верки тока к. з. не следует, так как это существенно ухудшило бы условия защиты, а трехкратные вставки практически достаточны для обеспечения бесперебой­ности работы при любых перегрузках, естественных для условий нормальной эксплуатации.

Из сказанного не следует делать вывод,-что плавкие вставки трехкратной величины можно в этих сетях ста­вить не задумываясь, в любом случае. Всегда необходи­мо выполнять основное требование правил, чтобы плав­кие вставки выбирались по возможности минимальными (см. выше п. 7).

1. Защита от перегрузок, в дополнение к защите от токов к. з., обязательна в следующих случаях (§П1-1-9):

для всех видов сетей внутри помещений, выполнен­ных открыто проложенными незащищенными изолиро­ванными проводниками с горючей оболочкой;

для осветительных сетей, независимо от типа при­мененных проводников и способа их прокладки: в жи­лых и общественных зданиях; в торговых помещениях; в служебно-бытовых помещениях промышленных пред­приятий; в сетях для бытовых и переносных электро­приемников (утюгов, чайников, плиток, комнатных хо­лодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т. п.); в пожароопасных производственных помеще­ниях;

для силовых сетей (независимо от типа примененных проводников и способа их прокладки) в промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях и во взрывоопасных помеще­ниях классов В-16 и В-1г (ПУЭ § VII-3-65) только в случаях, когда по условиям технологического процес­са или режима работы сети может возникать длитель­ная перегрузка проводов и кабелей;

для всех видов сетей во взрывоопасных помещениях всех классов, кроме В-16 и В-1г, независимо от условий технологического процесса, режима работы сети, типа примененных проводников и способа их прокладки.

1. В сетях, для которых обязательна не только за­щита от токов к. з., но и защита от перегрузок, величи­на плавких вставок должна выбираться как обычно — наименьшей допустимой по условиям бесперебойности работы (см. выше п. 7). А сечения проводников должны выбираться таким образом, чтобы их длительно допу­стимая нагрузка /пр, во-первых, не была меньше рас­четного тока сети и, во-вторых, чтобы в сравнении с но­минальным током выбранных для защиты плавких вста­вок (7В) она не была меньше нижеуказанных величин (§ III-1-10):

для сетей, выполненных проводниками с резиновой и и аналогичной ей по тепловым характеристикам изоля­цией, в невзрывоопасных производственных помеще­ниях промышленных предприятий, а также во взрыво­опасных помещениях и наружных установках классов В-16 и В-1г (§ VII-3-65)

/др • 1; (13)

для сетей выполненных проводниками с резиновой и аналогичной ей изоляцией, во всех остальных случаях (во взрывоопасных помещениях классов В-I, B-Ia, В-П, В-Па, в жилых и общественных зданиях и т. д.)

/пр:/в~1,25; (14)

для сетей, выполненных кабелями с бумажной изо­ляцией, независимо от условий среды, назначения поме­щения и сети

/пР:/в-1. (13)

Очевидно, что для линий с одинаковым режимом ра­боты (т. е. с одинаковыми расчетными токами и одина­ковыми по величине и длительности кратковременными перегрузками) наименьшие допустимые плавкие встав­ки будут одинаковыми независимо от того, проложена ли линия в установке, где обязательна только защита от токов к. з., или в установке, где обязательна также и защита от перегрузок. Увеличивать плавкую вставку сверх необходимого минимума правила не разрешают, а уменьшать ее нельзя потому, что меньшая вставка не обеспечит требуемой надежности и бесперебойности ра­боты (она будет плавиться). В этих условиях, когда ве­личина плавких вставок фактически задана режимом работы, требуемая защита от перегрузок может быть обеспечена только путем подбора проводников опреде­ленных сечений: проводники меньших сечений будут защищены выбранными вставками только от токов к. з., а проводники больших сечений будут ими защищаться также и от коротких замыканий.

Выше, при сопоставлении защитных характеристик (рис. 13), отмечалось, что плавкие предохранители с но­минальным током, равным длительно допустимой на­грузке проводников, защищают их вполне удовлетвори­тельно только при перегрузках, превышающих ток провода в 2 и более раз. Поэтому правила требуют, что­бы в особо ответственных случаях соблюдалось соотно­шение (14), т. е. чтобы длительно допустимая нагрузка проводников превышала номинальный ток вставки при­мерно в 1,25 раза. В менее ответственных случаях и где, кроме того, имеется квалифицированный персонал, учи­тывая, что перегрузки до двукратной величины обычно не являются следствием аварии и без ведома персонала не могут появиться, правила разрешают ограничиваться выбором проводников по соотношению (13), т. е. чтобы допустимый ток провода был примерно равен номиналь­ному току плавкой вставки. По такому же соотношению правила, разрешают выбирать сечения кабелей с бумаж­ной изоляцией во всех случаях, потому что эти кабели более устойчивы к малым перегрузкам и снабжены на­дежными оболочками.

1. Исключение из вышеуказанных требований защи­ты сетей от перегрузок допускается правилами для от­ветвлений к короткозамкнутым двигателям во взрыво­опасных помещениях всех классов. Учитывая, что не-

аварийная перегрузка таких ответвлений практически невозможна, правила разрешают (§ VII-3-63) ограничи­ваться выбором для них проводников с длительно до­пустимой нагрузкой, не менее 125% номинального тока двигателя, а плавкие вставки выбирать, как обычно — наименьшие допустимые (см. п. 7). Иначе говоря, для таких ответвлений соблюдение соотношений (13), (14), не обязательно.

1. Учитывая изложенное выше в п. 6—10, приходим к выводу, что выбор сечений проводников, удовлетво­ряющих требованиям правил как по условиям нагрева, так и по условиям защиты, сводится к следующему:

а) по данным режима работы линии (ее расчетного тока и ожидаемых кратковременных перегрузок), руко­водствуясь приведенными в § 14 практическими указа­ниями, с учетом требований селективности определяется номинальный ток наименьшей плавкой вставки, пригод­ной для защиты рассматриваемой линии — /в;

б) в зависимости от характера установки и типа выбранных проводников, руководствуясь приведенными выше. данными, определяют, какому из соотношений — (12), (13) или (14)—должны удовлетворять выбира­емые проводники по условиям защиты; из этого соотно­шения, зная величину /в, находят, чему должна быть равна длительно допустимая нагрузка искомых провод­ников /пр, чтобы они удовлетворяли требованиям защиты;

в) из таблиц, приведенных в гл. 1-3 ПУЭ, выбирается проводник такого сечения, длительно допустимая на­грузка которого удовлетворяет следующим двумя тре­бованиям:

во-первых, она ни в коем случае не должна быть меньше расчетного тока линии, что требуется для удов­летворения нормальных условий нагрева;

во-вторых, она должна быть примерно равна найден­ной выше величине /пр, что требуется по условиям за­щиты;

если в упомянутых таблицах ПУЭ нет проводника с длительно допустимой нагрузкой, точно равной най­денной выше величине /пр, правила (§ III-1-10A) разре­шают выбирать проводник ближайшего меньшего сече­ния, если его длительно допустимая нагрузка не мень­ше расчетного тока линии.

Само собой разумеется, что в необходимых случаях сечения проводников, выбранных в соответствии с выше- 56

указанным, должны быть проверены еще и по ряду дру­гих условий — по допустимой потере напряжения, по условиям механической прочности (при больших рас­стояниях между опорами), по динамической устойчи­вости к пику тока к. з., пропускаемому плавким предо­хранителем (см. приложение 4), и др. Рассмотрение этих условий в нашу задачу не входит.

1. Практические указания по выбору плавких вставок

Из сказанного выше о защитных характеристиках очевидно, что плавкий предохранитель не реагирует на то, какое сечение (большое или малое) имеет провод­ник отходящей от него линии. Предохранитель одина­ково сгорит и при толстом, и при тонком проводнике, если в линии имеют место нагрузки чрезмерной для него величины, длительности и частоты. Поэтому при выборе предохранителя и плавкой вставки необходимо считаться только с режимом работы установки.

Когда же выбирают сечение проводников, нужно исходить из того, что величина плавкой вставки предо­хранителя задана режимом работы установки и изме­нению не подлежит даже в том случае, когда согласно правилам для такого предохранителя требуется не­сколько завысить сечение провода.

Наименьшая плавкая вставка, способная при данном режиме работы длительно обеспечивать бесперебойную эксплуатацию, должна удовлетворять трем указанным ниже условиям. Если одному из этих условий отвечает вставка одной величины, а другому условию — вставка большая, надо выбирать большую.

**Условие 1.** Предохранитель в условиях нормальной эксплуатации не должен перегреваться сверх допусти­мых для него температур. Для этого необходимо выбрать предохранитель с таким патроном и такой плавкой вставкой, у которых номинальные токи равны или не­много больше расчетного тока линии.

**Условие 2.** Предохранитель не должен отключать ли­нию при перегрузках, свойственных нормальной эксплуа­тации, например при пусковых токах. Для этого необхо­димо выбрать плавкую вставку, которая при этих токах не нагревалась бы чрезмерно, так как это влечет за со­бой окисление поверхности вставки, быстрое ее старение, постепенное ослабление контактов и ложные отключе­ния. Практикой установлено приближенное правило, согласно которому длительная спокойная, без ложных ■отключений эксплуатация плавкого предохранителя возможна в том случае, если пусковые токи /п не превы­шают примерно половины тока срабатывания /ср встав­ки, /п~0,5 /Ср-

Ток срабатывания определяется по защитной харак­теристике. Например, известно, что пик нагрузки или пусковой ток длится немногим более 1 *сек.* Тогда из рис. 10 или 11 для предохранителей серии ПН2 находим, что ток, способный расплавить вставку за 1 *сек,* прибли­зительно в 5 раз больше номинального тока вставки, /ср —5/в. Отсюда на основании указанного правила полу­чаем /п~0,5 /ср~0,5-5 /в~2,5 /в. Иначе говоря, в этих случаях ток вставки должен быть примерно равен

Аналогично нетрудно установить, что при дли- тельности пика нагрузки, например, 3,5 *сек /в~* для длительности примерно 20 *сек* (время разгона некото­рых центрифуг и тому подобных механизмов) /в и

т. д.

В широкой практике, когда не располагают ни точ­ным знанием длительности разгона или графиком рабо­ты установки, ни точной защитной характеристикой пре­дохранителя, принято руководствоваться следующим:

а) для защиты ответвлений к одиночным двигателям при небольшой частоте и длительности пусков, как, на­пример, у металлообрабатывающих станков и подобных механизмов (легкие условия пуска),

(15)

а при большой частоте пусков или при большой их дли­тельности, как например, у двигателей кранов и других механизмов повторно-кратковременного режима работы или у таких механизмов, как центрифуги, которые очень медленно набирают скорость (средние или тяжелые условия пуска),

'в 0,6-т-2,0) ’

б) для защиты линий, питающих более одного двига­теля, если известен расчетный ток линии /р и пусковой ток /(П того двигателя, у которого он больше других,

(17)

Плавкие вставки, выбранные по уравниям (15) — (17), в подавляющем большинстве случаев обладают большим запасом прочности. Например, номинальный ток двигателя /дв = 20 *а,* его пусковой ток /п=100 *а,* тог­да плавкая вставка /в = 100 : 2,5 = 40 *а.* Во время пуска вставка будет нести перегрузку, превышающую ее номи­нальный ток в 100 :40 = 2,5 раза. Из рис. 10 или 11 вид­но, что при такой перегрузке вставка могла бы распла­виться примерно за 1 *мин* (60 *сек).* Это примерно в 40 раз больше, чем обычная длительность пускового тока у двигателей металлообрабатывающих станков (1,5 *сек).* Грубо приближенно можно подсчитать доба­вочное превышение нагрева плавкой вставки во время пуска такой длительности по уравнению (6). Если при­равнять Ту температуре плавления медной вставки (по табл. 9 оно равно 1 083° С), *Т—*времени плавления при данной перегрузке, т. е. 60 *сек,* и *t —* фактической дли­тельности этой перегрузки (1,5 *сек),* то добавочное пре­вышение нагрева окажется равным примерно

*Ъ* 1 083 27° С.

Это, конечно, очень малая величина для медной вставки, не могущая сколько-нибудь заметно ускорить ее окисле­ние и порчу. Фактически на время пуска могут быть до­пущены значительно большие добавочные нагревы. По­этому расчеты по (15)--(17) носят только приближен­ный характер: ток вставки приблизительно должен быть равен пусковому току или пику нагрузки, поделенному на 2,5. На практике можно без ущерба для надежности работы выбирать и несколько меньшую вставку. Поэто­му лишены оснований встречающиеся иногда рекоменда­ции о выборе плавкой вставки по уравнению более слож­ному, претендующему на большую точность, чем уравне­ние (17).

**Условие 3.** Предохранитель должен отключать линию при появлении опасных для нее токов к. з. в минималь­ное время, но по возможности селективно, т. е. чтобы в первую очередь отключалось дефектное ответвление,

а основная неповрежденная линия оставалась в работе. Для этого необходимо-, чтобы при одинаковом токе к. з. фактическое время отключения большего предохраните­ля (/ф.б), защищающего основную линию, было больше фактического времени отключения меньшего предохра­нителя (/ф.м), защищающего ответвление. Как это ука­зывалось в § 11 (рис. 11), фактическое время отключе­ния большего предохранителя в крайнем случае может оказаться на 50% меньше, чем время, показанное на его защитной характеристике (/х.б), т. е. /ф.б=О,5 /х.б, а фак­тическое время отключения меньшего предохранителя в другом крайнем случае может, наоборот, оказаться больше на 50%, т. е. /ф.м=1,5 /х.м. Следовательно, в слу­чае совпадения этих крайних обстоятельств необходимо, чтобы

Aj).6> ^ф.м

или

**0,5/х.б>1,5/х.м,**

т. е.

**^Х.б>3/Х.м.**

*Таким образом, для получения безусловной се­лективности необходимо, чтобы время отключения, определенное по защитной характеристике большего предохранителя, превышало более чем в 3 раза вре­мя отключения по характеристике меньшего предохра­нителя.*

**Пример 10.** Ответвление от основной линии к двигателю защи­щено плавкой вставкой с номинальным током 30 *а,* и известно, что наибольшее возможное значение тока к. з. в этом ответвлении рав­но 1 000 *а.* Определить, какая наименьшая плавкая вставка может быть применена для защиты основной линии по условиям селектив­ности.

Решение. Из характеристики предохранителя 30 *а* на рис. 11 видно, что его среднее время отключения при токе 1 000 *а* равно примерно 0,01 *сек* (/х.м = 0,01 *сек).* Следовательно, для безуслов­ного соблюдения селективности необходимо, чтобы большая плав­кая вставка, защищающая основную линию, отключала ток 1 000 *а* за время не менее 3/х.м, т. е. не менее 0,03 *сек.* Из тех же характе­ристик видно, что этому требованию удовлетворяют все плавкие вставки с номинальным током 80 а и более.

На основании сказанного можно для предохрани­телей серии ПН2 по характеристикам рис. 10 и 11 вы­вести более удобные для практического пользования со­отношения, указанные в табл. 14. Эти соотношения вы- 60

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *1 К.з •* в.м | 10 | 20 | | 50 | | 100 | | 150 и более |
| Номинальный ток |  |  |  |  |  |
| меньшей плавкой | Номинальный ток большей плавкой | вставки предохранителя |
| вставки предохра­нителя ПН2,^в.м’ а | 1IH2, требующейся для обеспечения селективности в особо ответственных случаях, /в б, *а* |
| 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 | 250 | 250 | 250 |
| 120 | 150 | 200 | 300 | 300 | 300 |
| 150 | 200 | 250 | 300 | 300 | 300 |
| 200 | 250 | 300 | 400 | 400 | 400 |
| 250 | 300 | 400 | 600 | Более 600 | Более 600 |
| 300 | 400 | 500 | Более 600 |   | — |
| 400 | 600 | Более 600 | — | — | — |

числены в зависимости от отношения тока к. з. (/к.з) к номинальному току меньшей плавкой вставки (/в.м) и показывают, какую величину большей плавкой вставки (/в.б) надо выбрать, чтобы обеспечить условие селек­тивности.

Необходимо иметь в виду, что данные табл. 14 вы­ведены для наибольших возможных отступлений от типовых характеристик и для маловероятных случаев совпадения наихудших сочетаний этих отступлений (фактическое время отключения у большего предохра­нителя отклонилось от типовой характеристики на ма­ксимально возможную величину вниз, а для меньшего предохранителя, наоборот, вверх). Поэтому пользовать­ся этими соотношениями нужно лишь в особо ответ­ственных случаях.

В обычной практике достаточная степень надежности получается, если исходить не из максимальных, а из средних возможных отступлений от типовых характери­стик при наихудшем возможном сочетании этих отступ­лений (для большего предохранителя время отключения равно времени по типовой характеристике минус 25%, а для меньшего — плюс 25%).

Необходимые для этих случаев соотношения указа­ны в табл. 15.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ^к.з ' ^в.м | 10 | | 20 | | 50 | j 100 и более |
| Номинальный ток | Номинальный ток большей плавкой вставки предохрани- |
| меньшей плавкой | теля ПН2, достаточной для обеспечения селективности |
| вставки предохраните­ля ПН2, /в*а* | в серьезных случаях практики, *I}* | в.б’ а |
| 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 | Более 600 |
| 300 | 400 | 400 | Более 600 | — |
| 400 | 500 | Более 600 | — | — |

1. Защита, осуществляемая плавкими предохранителями

Для оценки качества защиты, осуществляемой плав­кими предохранителями, рассмотрим несколько приме­ров защиты линии из трех проводников с резиновой изо­ляцией и алюминиевыми жилами сечением по 4 *мм2,* обладающими малой постоянной времени нагревания Г = 0,8-3 — 2,5 *мин =* 150 *сек* (приложение 1). Такие про­водники при перегрузках и коротких замыканиях за время действия защиты успевают нагреваться до более высоких температур и потому находятся в более труд­ных условиях, чем проводники толстых сечений. Дли­тельно допустимое по ПУЭ превышение натрева этих проводов ту.н = 40°С, а максимально допустимое превы­шение нагрева за время действия защиты при коротком замыкании тж.м=150°С (см. табл. 7).

Вариант 1. *Номинальный ток плавкой вставки равен длительно допустимой нагрузке провода по нор­мам* /в = /пр. Если при коротком замыкании /кз’^в = = Д.з :/Пр = 200, время отключения (по рис. 10) / — —0,0'07 *сек.* По уравнению (4) находим ту = 4О\*20О2; сле­довательно, добавочное превышение нагрева провода за время короткого замыкания по уравнению (6) равно:

=-2^21 40-2002=^ 75° С.
loU

Аналогично для других значений /к.з ‘ Лтр находим ре­зультаты, сведенные в табл. 16, причем в тех случаях, где при малых нагрузках отношение *t:T* велико, под­счеты велись не по уравнению (6), а по (5), пользуясь данными приложения 2.

Если бы мы имели линию с проводниками не столь малого сечения, а имеющими постоянную времени на­гревания, равную, например, ^ = 0,85 • 27,5 — 23,5 *мин —* ='1 400 *сек* (соответствует 70 *мм2,* см. приложение 1), то

Таблица 16

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| /к.з^в = Л;.з = | 'лр | 200 | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 | 3 | 2 | 1,6 |
| Время отключения рис. 10 *t, сек* | по | 0,007 | 0,008 | 0,01 | 0,0 17 | 0,05 | 1,0 | 15 | 150 | 1 200 |
| Возможное превышение нагрева провода т\* °C | 75 | 21 | 6,7 | 1,8 | 1,3 | 6,7 | 36 | 101(16) | 103(56) |

превышение нагрева было бы значительно меньше, а при 2 и 1,6-кратной перегрузке оно достигло бы вели­чин, указанных в скобках в табл. 16.

Данные табл. 16 подтверждают сказанное в § 11 при рассмотрении защитных характеристик предохраните­лей, что проводники нагреваются больше всего за время, необходимое для отключения предохранителем перегру­зок, превышающих номинальный ток вставки в 1,6 — 2 раза. При этом подавляющее большинство проводни­ков оказывается в достаточной мере хорошо защищен­ными. Их добавочные превышения нагрева невелики. Исключение составляют проводники очень малых сече­ний. Они имеют заметно повышенные превышения на­грева в зоне перегрузок от 1,6 до 2-кратных значений. Однако и это превышение составляет не более 70% ве­личины, допускаемой по ПУЭ.

Вариант 2. *Номинальный ток плавкой вставки ра­вен расчетному току линии = а длительно допусти­мая нагрузка проводов на 25% больше расчетного тока,* /пр= 1,25/в= 1,25/р. Это соответствует указанному выше соотношению (14), предписываемому правилами для защиты некоторых видов сетей от перегрузок. Очевидно, что в этих случаях наибольшие превышения нагрева не будут превышать значений, указанных в табл. 17, и про­водники всех сечений оказываются хорошо защищен­ными.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 7К.З • 7 в | 2 | 1,6 |
| *1* К.З ‘/пр | 1,6 | 1,45 |
| Время отключения (по рис. 10) *t, сек* | 150 | 1 200 |
| Возможное превышение нагрева | 65 | 84 |
| провода °C | (И) | (47) |

Вариант 3. *Номинальный ток плавкой вставки превышает длительно допустимую нагрузку провода в 3 раза* /В = 3/Пр- Это соответствует указанному выше соотношению (12), допускаемому правилами в сетях, защищаемых только от токов к. з., если это необходимо для избежания ложно-аварийных отключений при пуско­вых токах, пиках технологических нагрузок, при само- запуске установок и т. п. случаях. Из расчетов, анало­гичных вышеуказанным, находим, что в этом случае за время отключения предохранителем перегрузок разной величины могут иметь место превышения нагрева, ука­занные в табл. 18.

Таблица 18

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I* К.З \*7 в | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 | 3 | 2 | 1,6 | 1,0 |
| 7 к.з :7 пр | 300 | 150 | 60 | 30 | 15 | 9 | 6 | 4,8 | 3,0 |
| Время отключения (по рис. 10) *сек* | 0,008 | 0,01 | 0,017 | 0,05 | 1,0 | 15 | 150 | 1 200 | со |
| Возможное превы­шение нагрева провода х\*, °C | 192 | 60 | 16 | 12 | 60 | 325(32) | 910(144) | 920(500) | 360(360) |

Очевидно, что в этих случаях достигается удовлетво­рительная защита проводов только от коротких замыка­ний и притом только в том случае, если ток к. з. превы­шает не менее чем в 4—5 раз номинальный ток плавкой вставки или, что то же, превышает не менее чем в 12—15 раз длительно допустимую нагрузку провода. При значениях токов к. з. меньше указанных, а также и при чрезмерно больших его значениях (/к.з> 150/пр, что практически мало вероятно) перегревы проводников намного превышают предельно допустимые значения. В этих случаях имеет место, вероятно, не только быстрое старение и порча резиновой изоляции, но и не исклю­чается возможность ее воспламенения. Это особенно актуально для разветвленных сетей с заземленной ней- 64

тралью, где токи однофазного замыкания на землю, превышающие номинальный ток провода не более чем в 6—10 раз, весьма вероятны. Кроме того, из табл. 18 видно, что в этих случаях 6—9-кратные токи провода при однофазных замыканиях на землю отключаются с недопустимо большой выдержкой времени (450— 15 *сек),* создающей опасность для жизни людей, сопри­касающихся с корпусами электрооборудования, так как при такой кратности тока в заземленном нулевом про­воде напряжение прикосновения может оказаться боль­шим.

По этим причинам надо во всех случаях строжайше добиваться выполнения упомянутых выше в § III-1-7, указаний ПУЭ, предписывающих во всех случаях выби­рать номинальные токи плавких вставок «по возмож­ности минимальными». Допускаемое этими правилами загрубление защиты до /В = 3/Пр следует применять лишь в крайних случаях, когда в этом есть безусловная не­обходимость, в таких местах, где воспламенение изоля­ции не грозит пожаром, и только' для проводников, про­ложенных в трубах или снабженных негорючими обо­лочками.

1. Примеры выбора плавких вставок предохранителей и сечений проводников

Пример 11. Имеется группа двигателей типа АО (т. е. в закры­том обдуваемом исполнении), с к. з. ротором, 380 в, со скоростью вращения 1 460 *об!мин.* Номинальная мощность (Рн), номинальный ток (/н), кратность пускового тока *(k)* для каждого из двигателей заимствованы из каталога и указаны в табл. 19. Необходимо вы­брать соответствующие требованиям ПУЭ плавкие вставки для за­щиты проводников ответвлений, питающих эти двигатели.

Решение. Определяем пусковой ток каждого двигателя *In=kln.* На основе знакомства с технологией и условиями работы приводных механизмов, руководствуясь сказанным выше в § 14, определяем для каждого из них условия пуска. Требуемые по ПУЭ величины наименьших плавких вставок, способных обеспечить дли­тельную бесперебойную работу в этих условиях, определяем:

для двигателей с легкими условиями пуска (нечастые пуски, длительность пуска не велика)—из уравнения (15);

для двигателей со средними условиями пуска (более частые пуски или пуски более длительные)—из уравнения (16) с коэф­фициентом, равным 2 в знаменателе;

для двигателей с тяжелыми условиями пуска (весьма частые пуски или пуски большой длительности)—из уравнения (16) с ко­эффициентом, равным 1,6 в знаменателе.

Учитывая сказанное в § 14 о приближенном характере расчетов по уравнениям (15) и (16), мы округляем полученные результаты до ближайших (не обязательно больших) величин стандартных плавких вставок. Результаты расчетов записаны в табл. 19.

Таким образом мы выбрали плавкие вставки, удовлетворяющие условию 2 § 14. Нетрудно видеть, что эти вставки удовлетворяют и условию 1: номинальный ток вставок больше номинального тока двигателя; следовательно, в условиях нормальной эксплуатации, при длительной нагрузке током двигателя, предохранители не будут нагреваться чрезмерно. По условию 3 (селективность) проверять

Таблица 19

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер двигателя | Номиналь­ная\* мощ­ность,Рн, *кет* | Номиналь­ный ток, */н, а* | Кратность пускового тока 'п;'н | Пусковой ток, */п. °* | Условия пуска | Номиналь­ный ток требуемых плавких вставок, *а* |
| 1 | 28 | 54 | 7,0 | 378 | Легкие | 150 |
| 2 | 28 | 54 | 7,0 | 378 | Средние | 200 |
| 3 | 14 | 27,5 | 7,0 | 192 | Легкие | 80 |
| 4 | 14 | 27,5 | 7,0 | 192 | Средние | 100 |
| 5 | 10 | 20,0 | 6,5 | 130 | Легкие | 50 |
| 6 | 10 | 20,0 | 6,5 | 130 | Тяжелые | 80 |
| 7 | 7 | 14,3 | 6,5 | 94 | Легкие | 40 |
| 8 | 7 | 14,3 | 6,5 | 94 | Тяжелые | 60 |
| Итого | Ру=118 | 231,6 |  | 1 588 | — | — |

эти плавкие вставки нет необходимости: по ходу электроэнергии от источника питания к электроприемнику они являются последней ступенью защиты и могут, не нарушая селективность, отключать токи повреждений сколь угодно быстро.

Следовательно, указанные в табл. 19 плавкие вставки являются наименьшими, надежно обеспечивающими бесперебойную работу и удовлетворяющими требованиям ПУЭ. Очевидно, что именно такие плавкие вставки для защиты проводников ответвлений к этим дви­гателям надо ставить всегда, независимо от того, каково назначе­ние помещения, в котором устанавливаются двигатели и проклады­ваются провода, каковы условия среды и каков общий характер производства, в процессе которого эти двигатели участвуют.

Пример 12. Предположим, что все двигатели, указанные в табл. 19, получают питание радиальными ответвлениями от одного силового распределительного пункта № 1 (СП1). Подвод питания от ближайшей подстанции к СП1 осуществляется одной линией. Из расчетов нагрузок известно, что коэффициент спроса рассматриваемой группы электроприемников равен /Сс = 0,55 при средневзвешенном значении коэффициента мощности cos Ф = 0,5. Надо выбрать плавкие вставки для устанавливаемых на щите под­станции предохранителей, защиты этой линии.

Решение. Прежде всего определяем расчетную мощность, передаваемую рассматриваемой линией к СП1:

Рр=КсРу = 0,55 • 118=65 *кет.*

Затем определяем расчетный ток линии:

\_ 65-1000

P~V 3-380-0,5

197а.

Следовательно, по условию 1 (§ 14) необходимо, чтобы номиналь­ные токи патронов предохранителей и плавких вставок были по крайней мере не меньше 200 *а.*

Проверим, какие плавкие вставки необходимы по условию 2 § 14. В условиях нормальной эксплуатации нет оснований считаться с вероятностью точного совпадения пуска двух и более двигателей, так как, во-первых, время пуска ничтожно мало в сравнении с пе­риодами длительной работы и, во-вторых, запасы устойчивости выбираемых плавких вставок при кратковременных перегрузках, как это отмечалось в § 14, достаточно велики. Поэтому номинальный ток наименьших плавких вставок, способных обеспечить беспере­бойную работу в условиях нормальных перегрузок рассматривае­мой линии, определяем из уравнения (17), принимая во внимание пусковой ток /п одного, наибольшего двигателя:

, -7р + /п - 197 + 378\_ /в 2,5 2 5 230 *а.*

Следовательно, условию 2 § 14 в данном случае могли бы удовлет­ворить стандартные плавкие вставки с номинальным током 250 *а.*

Осталось проверить, какие наименьшие плавкие вставки для защиты линии, питающей СП1, могут удовлетворить условию 3 § 14 (селективности), если известно, что наибольшее возможное действующее значение тока короткого замыкания в линиях, отходящих от <СП1, не превышает 8 000 *а* (эта величина мо­жет быть найдена по кривым § 2-26 [Л. 5], если известно, что на подстанции установлен трансформатор 1 000 *ква,* а расстояние до СП1 составляет 80 *м). Этот ток к. з.* превышает номинальный ток самых больших плавких вставок на СП1 в 8 000:200 = 40 раз. Зная эту величину (/к.з:/в м=40), мы по табл. 15 находим, что на под­станции необходимо поставить плавкие вставки с номинальным то­ком по крайней мере 300 *а, если* мы хотим, чтоб при тяжелом ко­ротком замыкании в линии, питающей двигатель № 2 (табл. 19), плавкие вставки 200 *а* на СП1 успевали сгореть и отключать ток раньше, чем начнут плавиться плавкие вставки в начале линии, пи­тающей этот силовой пункт. Это необходимо, чтоб обеспечить бес­перебойную работу остальных двигателей, присоединенных к СП1.

Таким образом мы окончательно выяснили, что условию 1 могли бы удовлетворить плавкие вставки с номинальным током 200 *а,* условно 2 — с током 250 *а,* условию 3 — с током 300 *а.* Так как рассматриваемая группа двигателей признана ответственной и обеспечение достаточной бесперебойности ее работы необходимо, мы окончательно решаем, что на подстанции для защиты рассмат­риваемой линии необходимо поставить предохранители ПН2 с пат­роном 600 *а* и плавкими вставками 300 *а.*

Пример 13. Определить, какие необходимы плавкие вставки на подстанции для защиты линии, рассмотренной в примере 12, пи­тающей СП1, если имеется дополнительное требование обеспечить возможность самозапуска трех двигателей: № 1, 2 и 4.

Решение. Когда в питающей сети исчезает напряжение, магнитные пускатели и контакторы осуществляют так называемую нулевую защиту, т. е. они отпадают и отключают двигатели от се­ти, а при появлении напряжения пуск этих двигателей возможен лишь после нажатия кнопки. Нулевая защита необходима, чтоб исключить возможность несчастных случаев при неожиданных пус­ках двигателей после длительного перерыва в электроснабжении. Однако в современных установках обычно предусматривается быст­рое автоматическое восстановление питания путем автоматического повторного включения отключившейся линии (АПВ) или путем автоматического включения резервного питания (АВР). В этих случаях для особо ответственных механизмов предусматривается специальное устройство, осуществляющее выдержку времени: кон­такторы отпадут и осуществят нулевую защиту, если напряжение не восстанавливается долго. Если же напряжение, например через 3—5 *сек,* восстанавливается, контакторы остаются включенными и двигатели «самозапускаются». Но в этих случаях можно считать, что пусковые токи всех самозапускающихся двигателей складыва­ются. Все происходит так, как будто это пускается один большой двигатель, и плавкие вставки должны быть способны выдержать эту сумму токов, не расплавляясь. В рассматриваемом случае сум­ма пусковых токов двигателей № 1, 2 и 4 равна:

/п = 378+378 +192=948 *а,* и тогда номинальный ток требуемых плавких вставок по уравне­нию (15)

/в=948: 2,5 = 380 *а,*

т. е. для обеспечения возможности самозапуска этих двигателей на подстанции для защиты линии, питающей СП1, пришлось бы по­ставить стандартные плавкие вставки 400 *а.*

Пример 14. Определить необходимые сечения алюминиевых проводников, проложенных в водогазопроводных трубах, для пи­тания каждого из двигателей, указанных в табл. 19. При этом рас­смотреть два варианта:

а) двигатели и питающие их линии находятся в любом не­взрывоопасном помещении, например в механическом цехе;

б) двигатели и питающие их линии находятся во взрывоопас­ном помещении, например класса В-На, где согласно ПУЭ § VI1-3-40 [Л. 1] рассматриваемые типы двигателей в закрытом об­дуваемом исполнении могут применяться.

Решение. Прежде всего устанавливаем, что ответвления к короткозамкнутым двигателям не относятся к упомянутым выше в § 13, п. 9 силовым сетям, в которых по условиям технологиче­ского процесса или режима работы сети может возникать длитель­ная перегрузка. Следовательно, для прокладки в механическом це­хе могут применяться проводники с такой длительно допустимой нагрузкой (/Пр), которая, во-первых, не меньше номинального тока двигателя (/н) и, во-вторых, удовлетворяет соотношению (12), т. е.

/пр /н И /пр^/в:3.

А для прокладки во взрывоопасном помещении B-ila в соответ­ствии со сказанными в § 13, п. 11

/др 1,25/д и /др /в: 3.

Величины длительно допустимых нагрузок для трех проводов с алюминиевыми жилами и с резиновой изоляцией, проложенных в газовой трубе, принимаем по данным ПУЭ табл. 1-3-2 [Л. 1]. Вы­бранные сечения и результаты проверки указаны в табл. 20. Из рассмотрения этих данных видно, как существенно влияют на вы­бор сечение проводников условия среды в месте прокладки и уве­личение номинального тока плавких вставок по условиям пуска. Так, например, для двигателя одного и того же типа (14 *кет,* 27,5 *а)* выбраны проводники 3X4 *мм2* для прокладки в механиче­ском цехе при легких условиях пуска, то же 3X6 *мм2* при средних условиях пуска и 3X10 *мм2* для прокладки во взрывоопасном по­мещении. Для проводников малых сечений разница в сечениях ока­залась не столь заметной только ввиду случайного в данном при­мере соотношения величин /н = 20 *а* и /Пр—19 а, а также потому, что проводники с алюминиевыми жилами сечением менее 2,5 лш2 не применяются ввиду их малой механической прочности.

Таблица 20

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | № двигателя по табл. 19 1 | Номинальный ток двигателя *а* | !’25/н | Номинальный ток плавких вставок, защищающих от­ветвление, 7В, *а* |  | Требуемые проводники с алюминиевыми жилами и резиновой изоляцией в водогазопроводной трубе для прокладки |
| в механическом цехе | во взрывоопасном помещении |
| Сечение, Л/Л42 | Длительно допустимая нагрузка,'пр~'в:3 | Сечение, *мм2* | Длительно допустимая нагрузка, |
| 1 | 54,0 | 68,0 | 150 | 50 | 3X16 | 60 | 3X25 | 80 |
| 2 | 54,0 | 68,0 | 200 | 67 | 3X16 | 60 | 3X25 | 80 |
| 3 | 27,5 | 34,5 | 80 | 27 | 3X4 | 28 | зхю | 47 |
| 4 | 27,5 | 34,5 | 100 | 33 | 3X6 | 32 | ЗХЮ | 47 |
| 5 | 20,0 | 25,0 | 50 | 17 | 3X4 | 28 | 3X4 | 28 |
| 6 | 20,0 | 25,0 | 80 | 27 | 3X4 | 28 | 3X4 | 28 |
| 7 | 14,3 | 18,0 | 40 | 13 | 3X2,5 | 19 | 3X2,5 | 19 |
| 8 | 14,3 | 18,0 | 60 | 20 | 3X2,5 | 19 | 3X2,5 | 19 |

Пример 15. Выбрать сечения проводников для рассмотренной в примере 12 линии, питающей СП1. Расчетный ток линии 197 *а.* Она защищена плавкими вставками с номинальным током 300 *а.*

Решение 1. Линия проложена в невзрывоопасном помеще­нии. По условиям технологического процесса и режиму работы возможность длительной перегрузки этой линии признается мало вероятной, тем более что расчетный ток линии получился не на много меньше суммы номинальных токов всех присоединенных к ней двигателей. Следовательно, защита линии от перегрузок не обязательна. Для нее можно выбрать проводники, соблюдая сле­дующие условия:

/пр ^/р^ 197/т и /пр^/в: 3>100 *а.*

*ПРИЛОЖЕНИЕ 1*

**Постоянные времени нагревания некоторых типоз проводов и кабелей с медными жилами Гм, *мин***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сечение жилы, *мм2* | Провода с резиновой изоляцией | Трехжильные кабели с бумажной изоляцией марок СБ, 1—3 *кв* при прокладке |
| одножиль­ные, про­ложены открыто на опорах | проложены в одной трубе |
| Два провода | три провода | четыре провода | в земле | в воздухе |
| 4 | 2,4 | 2,5 | 3,0 | 4,0 | 6,0 | 18,0 |
| 6 | 3,0 | 4,0 | 4,75 | 6,25 | 7,2 | 19,1 |
| 10 | 4,2 | 6,75 | 7,5 | 9,5 | 8,4 | 20,6 |
| 16 | 5,6 | 9,3 | 11,0 | 13,7 | 10,8 | 21,6 |
| 25 | 7,2 | 13,0 | 15,7 | 19,5 | 12,0 | 26,4 |
| 35 | 9,0 | 15,7 | 19,5 | 24,0 | - 14,4 | 28,8 |
| 50 | 12,0 | 19,0 | 23,5 | 28,3 | 18,0 | 32,4 |
| 70 | 15,0 | 22,0 | 27,5 | 33,0 | 21,6 | 37,2 |
| 95 | 18,4 | 26,3 | 32,0 | 37,5 | 26,4 | 43,0 |
| 120 | 21,4 | 29,5 | 35,8 | 42,0 | 30,0 | 48,0 |
| 150 | 24,4 | 33,5 | 41,0 | 47,0 | 34,7 | 53,0 |
| 185 | — | — | — | — | 40,0 | 60,0 |
| 240 | — | — | — | , — | 45,0 | 90,0 |

Примечание. Постоянная времени нагревания проводов и кабелей с алю- миниевыми жилами *Т&* при одинаковом их сечении с медными жилами, при одина­ковой конструкции изолирующих и защитных покровов и при одинаковом спосо­бе прокладки может быть принята для голых проводов 0,7, приближенно для изолированных проводов 0,85 и для кабелей 0,9 от постоянной времени нагрева­ния Тм соответственных проводов и кабелей с медными жилами.

*ПРИЛОЖЕНИЕ 2*

Значения величин *е т* и 1—*е т* при разных значениях X

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t т* | *t**е~ Т* | *t**1-е Т* | *t т* | *t**е Т* | *t*1-е *Т* |
| 0,1 | 0,905 | 0,095 | 1,1 | 0,333 | 0,667 |
| 0,2 | 0,820 | 0,180 | 1,2 | 0,300 | 0,700 |
| 0,3 | 0,742 | 0,258 | 1,3 | 0,273 | 0,727 |
| 0,4 | 0,671 | 0,329 | 1,4 | 0,248 | 0,752 |
| 0,5 | 0,607 | 0,393 | 1,5 | 0,224 | 0,776 |
| 0,6 | 0,550 | 0,450 | 2,0 | 0,136 | 0,864 |
| 0,7 | 0,497 | 0,503 | 2,5 | 0,082 | 0,918 |
| 0,8 | 0,450 | 0,550 | 3,0 | 0,050 | 0,950 |
| 0,9 | 0,407 | 0,593 | 4,0 | 0,015 | 0,982 |
| 1,0 | 0,318 | 0,632 | 5,0 | 0,006 | 0,994 |

Примечание. Для промежуточных значений у- соответствующие величи­ны могут быть найдены интерполяцией.

*ПРИЛОЖЕНИЕ 3*

Технические данные предохранителей ПР2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номинальные токи, *а* | Наибольший отключаемый ток (действующее значение), *а* | Назначение |
| предохрани­телей | плавких вставок |
| Исполнение I | | Исполнение 2 |
| при напр; | 1жении, *в* |
| 220 | 380 | 380 | 500 |
| 15 | 6; 10; 15 | 1 200 | 800 | 8 000 | 7 000 | Предназначены для |
| 60 | 15; 20; 25; 35; 60 | 5 500 | 1 800 | 4 500 | 3 500 | работы в сетях по­ |
| 100 | 60; 80; 100 | 14 000 | 6 000 | И 000 | 10 000 | стоянного и пере­менного тока |
| 200 | 100; 125; 160; 200 | 14 000 | 6 000 | 11 000 | 10 000 | Номинальное напря­ |
| 350 | 200; 225; 260; 300; 350 | 11 600 | 6 000 | 13 000 | 11 000 | жение у исполне­ |
| 600 | 350; 430; 500; 600 | 15 000 | 13 000 | 23 000 | 20 000 | ния 1—220 *в, а у* исполнения 2—500 *в* |

*ПРИЛОЖЕНИЕ 4*

Технические данные предохранителей 500 в
переменного тока типов ПН2 и НПН

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип предохра­нителя | Номинальный ток | Наибольший отклю­чаемый ток (действую­щее значение), *а* | При каком положении предохранителя |
| Предох рани теля, *а* | Плавких вставок | , а |
| НПН-15 НПН-60 | 1560 | 6; 10 1520; 25; 35; 45; 60 |  | *—* |  |
| Пат­роны | ПН2-100 | 100 | 30; 40; 50; 60; 80; | 100 | 50 000[[1]](#footnote-2) | При вертикальном и го­ризонтальном положении |
| раз­бор­ные | ПН2-250ПН2-400ПН2-600 | 250400600 | 80; 100; 125; 150;250200; 250; 300; 400300; 400; 500; 600 | 200; | 40 000\*25 00025 000 | на стене или горизонталь­ном на потолкеТолько при вертикаль­ном положении на стене |

Этим условиям удовлетворяют:

провода с алюминиевыми жилами и резиновой изоляцией, се­чением 3x95 *мм2* (/пр = 200 *а)* при прокладке в водогазопроводных трубах;

кабели до 3 *кв* с алюминиевыми жилами и бумажной изоля­цией, сечением 3X120 *мм2* (/пр = 220 *а)* при прокладке в воздухе.

Решение 2. Силовой распределительный пункт СП1 уста­новлен в изолированном помещении во взрывоопасном цехе класса В-Па таким образом, что линию от подстанции к этому пункту вы­нуждены проложить внутри этого цеха. В этом случае в соответ­ствии со сказанным в § 13, п. 12 линия должна быть защищена от перегрузок:

провода с алюминиевыми жилами и резиновой изоляцией, про­ложенные в водопроводных трубах, должны допускать длительную нагрузку по соотношению (14):

/пр=1,25/в = 1,25-300=375 *а*

и для выполнения этой линии пришлось бы (см. ПУЭ, табл. 1-3-2) взять на каждую фазу по два провода сечением по 95 *мм2* каждый, всего шесть проводов, и проложить их в двух трубах, по три про­вода (три фазы) в каждой трубе;

бронированные трехжильные кабели с алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией для напряжений до 3 *кв,* проложенные в воздухе, в этом случае должны допускать длительную нагрузку по соотношению (13):

/пр = /в~300 *CL,* чему, учитывая сказанное в § 13, п. 12в, удовлетворяет кабель 3X185 *мм2,* допускающий длительную нагрузку /пр = 290 *а* (см. ПУЭ, табл. 1-3-14).

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), изд-во «Энер­гия», 1966.
2. К у з н е ц о в Р. С., Аппараты распределительных устройств низкого напряжения, Госэнергоиздат, 1962.
3. К а м и н с к и й Е. А., Предохранители низкого напряжения, «Рабочий энергетик», 1953, № 2.
4. Л и в ш и ц Д. С., Выбор аппаратов защиты электросетей, «Энергетик», 1955, № 9.
5. Справочник по электроустановкам промышленных предприя­тий, под общей ред. И. Е. Боричева и др., т. I, ч. 1 и 2, Гос­энергоиздат, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

[Предисловие 3](#bookmark8)

**Нагрев проводников**

1. Основные определения **5**
2. Установившееся превышение нагрева проводника при

[длительной нагрузке **6**](#bookmark12)

1. Изменение превышения нагрева проводника от нуля до

[установившейся величины при неизменной нагрузке . 8](#bookmark16)

1. [Изменение превышения нагрева проводника после отклю­чения нагрузки 11](#bookmark24)
2. Изменение превышения нагрева проводника при перемен­ной нагрузке 13
3. [Старение изоляции 19](#bookmark28)

**Плавкие предохранители**

1. [Типы предохранителей **25**](#bookmark32)
2. [Пограничный ток, номинальный ток вставки и испыта­тельные токи . 29](#bookmark36)
3. [Материал плавких вставок 30](#bookmark40)
4. [Конструкция плавких вставок 32](#bookmark44)
5. [Защитные характеристики 33](#bookmark48)
6. [Перезарядка патронов предохранителей .... **42**](#bookmark57)

**Выбор плавких предохранителей**

1. [Требования правил устройства электроустановок . . **46**](#bookmark61)
2. [Практические указания по выбору плавких вставок . 57](#bookmark80)
3. [Защита, осуществляемая плавкими предохранителями . 62](#bookmark84)
4. [Примеры выбора плавких вставок предохранителей и се­чений проводников ... **65**](#bookmark88)

Приложения 71

**Цена 15 коп.**

1. Предохранители ПН2-100 и ПН2-250 являются токоограничивающими. Наи­большие мгновенные значения тока, пропускаемого этими предохранителями при коротком замыкании, не превышают 5 000 *а.* В таблице указаны действующие зна­чения периодической составляющей тока к. з., которые имели бы место в цепях, где можно ставить эти предохранители, но если бы предохранителя не было. [↑](#footnote-ref-2)