

УДК 614.841.245

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сороко Д.М.

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности
и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь

В данной работе отражена актуальность обеспечения пожарной безопасности электрического контактного соединения, проведен обзор ТНПА, устанавливающих их пожарную опасность, а также представлены результаты проведенных ранее научных исследований.

(Поступила в редакцию 22 декабря 2008 г.)

Введение

Различные элементы электрической цепи соединяются между собой и присоединяются к источникам или потребителям электроэнергии с помощью электрических контактных соединений, которые являются неотъемлемой частью электроустановок и выполняются различными технологическими способами.

Количество контактных соединений, к примеру, в распределительных устройствах электрических станций достигает сотни единиц из-за необходимости соединения участков шин между собой, шин и ошиновки ячеек, ошиновки с вводами электрических аппаратов и оборудования и др. Наряду с этим, в самих коммутационных аппаратах и установочных изделиях (розетках, выключателях, разъединителях, рубильниках и т. п.) имеются размыкающиеся контакты [1].

Электрическим контактом является соприкосновение тел, обеспечивающее непрерывность электрической цепи. Контактное соединение – это необходимый конструктивный узел, образующий неразмыкаемый контакт. Возросшая сложность электроустановок, многообразие условий их работы и требований, предъявляемых с ним, привели к появлению ряда разновидностей контактных соединений.

Электрический контакт между проводниками осуществляется присоединением одного токоведущего элемента к другому с помощью болтов, винтов, сжимов, специальных пружин, заклепок, совместной деформации (опрессовки, скрутки), а также сваркой [2–4], пайкой или адгезионным сцеплением – склеиванием.

По конструктивно-технологическому признаку контактные соединения подразделяются на три группы: неразборные, разборные и разъёмные. Неразборные контактные соединения – те, которые не могут быть разобраны без разрушения хотя бы одной из соединяемых деталей или соединяемого материала; к ним относятся сварные, паяные, склепанные, спрессованные, клеевые. Разборные контактные соединения – те, которые могут быть разобраны без разрушения соединяемых деталей; к ним относятся болтовые, винтовые, клиновые. Разъёмные контактные соединения – устройства, состоящие из вилки и розетки.

По роду связи токоведущих частей соединения можно разделить на цельнометаллические – с физическим сварным контактом, и сжимные – с механическим (сжимным) контактом. В свою очередь, сжимные соединения могут быть простыми и сложными: первые образуются между двумя сплошными по структуре проводниками, вторые – между многопроволочным проводом и наконечником (гильзой) или между двумя многопроволочными проводами.

По монтажно-эксплуатационному назначению контактные соединения делят на соединения, подсоединения и ответвления, работающие в открытых и закрытых распределительных устройствах.

Контактные соединения токоведущих частей электроустановок служат для длительного пропускания токов формального режима и кратковременных токов аварийных режимов.

Характеристики и параметры контактных соединений должны соответствовать стандартам, техническим условиям, нормам и требованиям надежности и выполняться в строгом соответствии с технологическими инструкциями. Наряду с этим необходимо, чтобы конструкция и технология выполнения соединений исключали возможные ошибки электромонтажного и ремонтного персонала.

Сопротивление контактного соединения после изготовления не должно быть больше сопротивления эквивалентного участка целого проводника. В тех случаях, когда контактное соединение образовано проводниками из разных материалов, его сопротивление должно сравниваться с сопротивлением эквивалентного участка проводника, имеющего меньшую проводимость.

В процессе эксплуатации сопротивление контактного соединения не должно быть в 1,8 раза выше значения сопротивления целой жилы.

При коротких замыканиях температура соединений должна быть не более 200 °С для алюминиевых проводников и 300 °С – для медных.

Механическая прочность контактных соединений, работающих на растяжение, должна составлять не менее 90 % прочности целого проводника; сварных и паяных соединений шин, жил проводов и кабелей, спрессованных соединений жил проводов и кабелей, не работающих на растяжение, – не менее 70 %; соединений зажимов с жилами проводов и кабелей без наконечников – не менее 30 %.

Опыт эксплуатации показал, что все виды контактов, кроме болтовых, скрутки и размыкающихся, одинаково надежны. Свойства последних с течением времени ухудшаются. В результате контактные соединения могут стать источником аварии в электрических установках. Производственная статистика показывает, что 10 % от всех отказов выключателей приходится на дефекты контактной системы [1].

Факторы пожарной опасности контактных соединений

Показателями хорошего качества контакта служат его переходное сопротивление и температура нагрева. Поэтому при конструировании контактного узла требуется знание характеристик протекающих в нем электромагнитных процессов. Последние позволяют определять места более тщательной подготовки контактных поверхностей, установки болтов, поддержания контактного давления, величины мощности потерь [1].

Согласно [5] при определенных условиях электрические контактные соединения можно рассматривать как источник теплоты и через длительный промежуток времени компоненты из изоляционного материала, являющиеся конструктивными элементами этого соединения, могут оказаться в состоянии, не соответствующем их функциональному назначению.

Одним из факторов, определяющих пожарную опасность контактных соединений, можно считать плохой контакт как нарушение условий эксплуатации электрического соединения, которое может стать причиной выделения в нем повышенного количества теплоты. Так же на пожарную опасность контактного соединения оказывает падение напряжения.

В настоящее время широко распространенные и применяемые в электротехнике проводниковые металлы, особенно медь, становятся дефицитными. В установках на большие токи медь заменяется алюминием, а в неответственных установках на токи до 500 А – железом. В таких условиях важное значение приобретают вопросы, связанные с надежностью работы контактных соединений, являющихся неотъемлемой частью электроустановок. Это объясняется худшими контактными свойствами заменителей, склонных к образованию на их поверхностях плохо проводящих пленок и др. Даже в условиях нормальной эксплуатации через год-полтора после сборки отдельные показатели качества большинства алюминиевых и железных контактов ухудшаются в 3–5 раз [6–9].

Контактные выводы разнообразного электрооборудования электроустановок, как правило, выполняются из материала, близкого по электрическим свойствам материалу токоведущих элементов. Конструкция выводов определяется эксплуатационными и монтажными требованиями. К плоским контактам относятся соединения большинства электрооборудования [6].

Характеристики и параметры контактов должны соответствовать стандартам, техническим условиям, требованиям надежности и выполняться в соответствии с технологическими инструкциями [6]. Состояние контактных соединений проводников в первую очередь определяется величиной переходного сопротивления. Первоначальное сопротивление контактного узла не должно быть больше сопротивления эквивалентного участка целого проводника. В случае узла, образованного из разных материалов, сопротивление должно сравниваться с сопротивлением эквивалентного участка проводника с меньшей проводимостью [6–9].

В ряде случаев для оценки состояния контактов используют не величину переходного сопротивления, а величину падения напряжения на участке токоведущей цепи, содержащем контактное соединение [8, 10].

Наличие на контактирующих поверхностях пленок потускнения и пассивирующих пленок приводит к уменьшению рабочих поверхностей и, как следствие, созданию дополнительного сопротивления. Его величина может многократно превосходить первоначальное переходное контактное сопротивление [11].

Определение пожарной безопасности контактных соединений

Существует несколько нормативных документов, устанавливающих пожароопасность контактных соединений на основе рассмотрения конструкции и значения тока, проходящего через него в нормальных условиях эксплуатации.

Определение пожарной опасности контактных соединений осуществляют по [5] «Испытания на плохой контакт при помощи накаливаемых элементов». Метод испытания воспроизводит условия, возникающие на практике.

В некоторых случаях, например, при ослаблении контакта в зажимах, недостаточном механическом давлении или при неправильном монтаже в соединениях, может выделяться большое количество теплоты, что также зависит от конструкции соединений и значения проходящего через них тока.

Регламентируемый метод предназначен для испытаний соединений под винт, которые проводят при монтаже, техническом обслуживании или ремонте электротехнических изделий. Метод используют для испытаний соединений, рассчитанных на ток не более 63 А.

Для соединений других типов допускается проводить испытания по ГОСТам [12, 13].

Испытание нагретой проволокой позволяет моделировать тепловые перегрузки, причиной которых могут стать такие источники тепла или зажигания, как элементы накаливания или перегруженные резисторы [12]. Во время проведения испытаний необходимо, чтобы соединение, нагреваемое накаливаемым элементом при определенных условиях, не вызывало воспламенения изоляционных элементов образца. При этом элементы образца из изоляционных материалов, которые могут воспламеняться в результате перегрева, имели бы ограниченную продолжительность горения и не распространяли загорания, вызванного открытым пламенем или отделением от него горящих или раскаленных частиц.

Испытание горелкой с игольчатым пламенем моделирует эффект возникновения открытого пламени в результате повреждения внутри оборудования для оценки пожарной опасности электротехнического изделия [13].

При выполнении натурных испытаний [14] места соединения жил (особенно методом скрутки) любых проводников представляют опасность даже при незначительных перегрузках (алюминиевые – $1,3I_{доп}$, медные – $2,5I_{доп}$). Следует отметить, что значения опасного тока перегрузки (с точки зрения опасного перегрева мест соединения и изоляции) зависят от количества жил, их сечения и материала, из которого они изготовлены.

Анализ существующих методов расчета пожарной опасности контактных соединений показал, что они основаны на расчете стационарных режимов и не учитывают нагрузки линий питания (электрических проводов).

Исследование поведения электрических контактов из-за сложности проблемы и разнообразия встречающихся вопросов основывается на изучении физической сущности процессов, протекающих в контакте, изучении природы и механизмов их отказов с привлечением методов статистического анализа, а также путем натуральных испытаний. Впервые научная систематизация контактных явлений выполнена Р. Хольмом [15].

Контактное соединение признается удовлетворительным, если его переходное сопротивление и нагрев не превышают допустимых величин.

Заключение

Проведенные исследования [14] показали, что процессы изменения тепловых характеристик контактных соединений и жил электрического проводника развиваются сходным образом при нагрузках от $I_{ном}$ до $1,5I_{ном}$. С увеличением нагрузки более $1,5I_{ном}$ динамика тепловых характеристик контактных соединений и жил электрического проводника вплоть до разрушения изоляции приближается к линейной зависимости, т. к. отражает начальную стадию процесса нагрева, при дальнейшем нагреве происходит разрушение изоляции.

Установлено, что механизм развития тепловых процессов, происходящих в электрическом проводнике, изменяется по одному из следующих вариантов:

- температура контактного соединения нарастает быстрее, чем жилы электропровода, что обусловлено большим переходным сопротивлением контактного соединения;
- температура жилы электропровода нарастает быстрее, чем температура контактного соединения, так как контактное соединение имеет малое переходное сопротивление и, соответственно, высокую теплопередачу ввиду отсутствия изоляционного слоя;
- температура контактного соединения на начальной стадии нарастает быстрее, чем жилы электропровода, но с течением времени устанавливается равновесный режим, это можно объяснить установившимся балансом между выделением тепла в контактном соединении и отводимом к проводнику и в окружающую среду.

Электрические проводники с медными жилами сечением $2,5 \text{ мм}^2$, исходя из механической прочности проводников, можно соединить методом скрутки с усилием, не превышающим $1 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Переходное сопротивление контактного соединения ведет к опережающему нагреву контактов по отношению к электрическому проводнику. Электрические проводники с медными жилами сечением от 4 до 6 мм^2 можно соединить методом скрутки с усилием $2,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$, это обеспечивает низкое переходное сопротивление и высокую теплоотдачу, т. е. охлаждение электрического проводника. В результате проведенных исследований выявлено, что разность температуры контактного соединения и жилы электрического провода, марки ВВГ $2\times 2,5$ может достигать 40°C . Для электрических проводов, марки ВВГ 2×4 и ВВГ 2×6 температура контактного соединения может быть ниже температуры жилы от 1 до 10°C . Величина сопротивления контактного соединения имеет большое влияние на пожарную опасность электрического проводника. Тепловой режим в контактном соединении может вызвать чрезвычайную ситуацию или снизить вероятность ее возникновения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев, Г.В. Электрические характеристики плоских контактных соединений разъединителей на переменном токе : автореф. дисс. ... канд. технич. наук / Г.В. Яковлев. – Минск, 2001. – 4 с.
2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатом издат, 1986. – 648 с.

3. ППБ 1.01-94 Общие правила пожарной безопасности республики Беларусь для промышленных предприятий. 3-е издание. – Минск, 2005. – 15 с.
4. ГОСТ 10434-82 Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования. – М., 1982. – 3 с.
5. ГОСТ 27924-88 Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания на плохой контакт при помощи накаливаемых элементов.
6. Бредихин, А.М. Электрические контактные соединения / А.М. Бредихин, М.В. Хомяков. – М. : Энергия, 1980. – 168 с.
7. Дзекцер, Н.Н. Многоамперные контактные соединения / Н.Н. Дзекцер, Ю.С. Висленев. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 128 с.
8. Хомяков, М.В. Испытания и контроль контактных соединений электрооборудования (из опыта Мосэнерго) / М.В. Хомяков. – М.-Л. : Энергия, 1964. – 102 с.
9. Хомяков, М.В. Уход за электрическими контактами / М.В. Хомяков. – М.-Л. : Энергия, 1967. – 101 с.
10. Грудинский, П.Г. Техническая эксплуатация основного оборудования станций и подстанций / П.Г. Грудинский [и др.] ; под ред. П.И. Устинова – М. : Энергия, 1974. – 576 с.
11. Реутт, Е.К. Электрические контакты. Электрическая теория и практика эксплуатации / Е.К. Реутт, И.М. Саксонов. – М. : Воениздат, 1971. – 160 с.
12. ГОСТ 27483 Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания нагретой проволокой.
13. ГОСТ 27484 Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания горелкой с игольчатым пламенем.
14. Провести исследования по определению причин возникновения пожаров от электрической проводки в зависимости от сроков ее эксплуатации : Отчет о НИР / НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси. – Минск, 2004. – 2 с.
15. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм ; пер. с англ. – М. : Изд. иностр. лит., 1961. – 461 с.