

7-8 Гашение электрической дуги

Электромагнитные аппараты, которые коммутируют электрические цепи с током, должны не только разрывать электрическую цепь, но и гасить возникшую между контактами электрическую дугу.

Рассмотрим причины возникновения электрической дуги при отключении (разрыве) электрической цепи с током.

Контур, содержащий индуктивность, при протекании через него тока запасает электромагнитную энергию, причем чем больше индуктивность контура, тем больше запасенная электромагнитная энергия. W :

$$W = LI^2/2. \quad (1.5)$$

Здесь L — индуктивность, Гн; I — ток в электрической цепи, А.

При размыкании контура запасенная энергия должна быть израсходована. В основном она расходуется на создание разряда между разомкнувшимися контактами. В большинстве случаев он является дуговым разрядом, характеризующимся большой плотностью тока в разрядном промежутке, что сопровождается высокой температурой и повышением давления в области горения дуги.

В коммутационных электрических аппаратах, предназначенных для замыкания и размыкания электрической цепи с током, при отключении возникает тлеющий разряд в газе или электрическая дуга. Тлеющий разряд появляется тогда, когда ток в отключаемой цепи ниже 0,1 А, а напряжение на контактах достигает 250...300 В. Такой разряд появляется на контак-



тах мощных реле или как переходная фаза к разряду в виде электрической дуги. Дуговой разряд отмечается при токах большой величины, минимальный ток дуги составляет примерно 0,5 А.

1.3.1. Способы гашения дуги постоянного тока

Принудительное движение воздуха. Гашение дуги в струе сжатого воздуха, полученной с помощью компрессора, весьма эффективно. Такое гашение в аппаратах низкого напряжения не используется, так как дугу можно погасить более простыми способами, без применения специального оборудования для сжатия воздуха [2].

Для гашения дуги, особенно при критических токах (когда появляются условия для гашения электрической дуги, называются критическими), применяется **принудительное дутье воздуха, создаваемого деталями подвижной системы при движении в процессе отключения.**

Гашение дуги в жидкости, например в трансформаторном масле, является очень эффективным, так как образующиеся газообразные продукты разложения масла при высокой температуре электрической дуги интенсивно деионируют ствол дуги. Если контакты отключающего аппарата поместить в масло, то возникающая при размыкании дуга приводит к интенсивному газообразованию и испарению масла. Вокруг дуги образуется газовый пузырь, который состоит в основном из водорода. Быстрое разложение масла приводит к повышению давления, что способствует лучшему охлаждению дуги и деионизации. Из-за сложности конструкции этот способ гашения дуги в аппаратах низкого напряжения не применяется.

Повышенное давление газа облегчает гашение дуги, так как при этом повышается теплоотдача. Установлено, что вольт-амперные характеристики дуги в разных газах, находящихся при разных давлениях (больше атмосферного), будут одинаковыми, если в этих газах одинаковые коэффициенты теплоотдачи конвекцией.

Гашение при повышенном давлении осуществляется в предохранителях с закрытым патроном без наполнителя серии ПР.

Электродинамическое воздействие на дугу. При токах более 1 А большое влияние на гашение дуги оказывают электродинамические силы, возникающие между дугой и соседними токоведущими частями. Их удобно рассматривать как результат взаимодействия тока дуги и магнитного поля, созданного током, который проходит по токоведущим частям. Простейшим способом создания магнитного поля является соответствующее расположение электродов, между которыми горит дуга. Для успешно-

го гашения необходимо, чтобы расстояние между электродами по ходу ее движения плавно увеличивалось. При малых токах никакие, даже очень маленькие, ступеньки (высотой 1 мм) нежелательны, так как у их края дуга может задержаться.

Магнитное гашение. Если путем соответствующего расположения токоведущих частей не удастся достигнуть гашения при использовании приемлемых растворов контактов, то, чтобы их не слишком увеличивать, применяют так называемое магнитное гашение. Для этого в зоне, где горит дуга, создают магнитное поле с помощью постоянного магнита или электромагнита, дугогасительная катушка которого включена последовательно в главную цепь. Иногда магнитное поле, созданное контуром тока, усиливается специальными стальными деталями. Магнитное поле направляет дугу в нужную сторону.

При последовательно включенной дугогасительной катушке изменение направления тока в главной цепи не вызывает изменения направления движения дуги. При постоянном магните дуга будет двигаться в разные стороны в зависимости от направления тока в главной цепи. Обычно конструкция дугогасительной камеры этого не позволяет. Тогда аппарат может работать при одном направлении тока, что представляет значительные неудобства. Это главный недостаток конструкции с постоянным магнитом, которая проще, компактнее и дешевле конструкции с дугогасительной катушкой. Способ гашения дуги с помощью последовательно включенной катушки состоит еще в том, что наибольшую напряженность поля нужно создать при критических токах, которые невелики. Дугогасительное поле становится большим только при больших токах, когда можно обойтись и без него, так как электродинамические силы становятся достаточно значительными для выдувания дуги.

Магнитное гашение широко используется в аппаратах, рассчитанных на нормальное атмосферное давление. В автоматических воздушных выключателях на напряжение до 600 В (за исключением быстродайствующих) дугогасительные катушки не применяют, так как это аппараты преимущественно ручного управления и у них легко создать достаточно большой раствор контактов. Однако усиление поля с помощью стальных скоб, охватывающих токоведущие части, применяется довольно часто. Дугогасительные катушки используются в однополюсных электромагнитных контакторах постоянного тока, так как раствор контактов там нужно делать значительно меньшим во избежание применения чрезмерно большого втягивающего электромагнита.

Гашение дуги переменного тока

При переменном токе возможен процесс гашения дуги, который существенно отличается от процесса гашения ее при постоянном токе. Нормальное гашение дуги переменного тока осуществляется в момент перехода тока через нуль, что значительно изменяет картину процесса гашения дуги. Если при постоянном токе необходимо принудительно оборвать ток дуги и деионизировать дуговой промежуток, то при переменном токе достаточно обеспечить условия, чтобы после погасания ее при прохождении тока через нуль дуга вновь не зажглась в следующем полупериоде. Однако все описанные факторы, способствующие повышению напряженности электрического поля горячей дуги постоянного тока вследствие охлаждения и деионизации створа, способствует и гашению дуги переменного тока, так как уменьшают сдвиг фаз тока, напряжения в цепи и подводимое к промежутку напряжение.

Так же влияет индуктивность нагрузки: повышение коэффициента мощности существенно облегчает гашение дуги.

Скорость движения дуги. Средняя скорость движения дуги переменного тока близка к скорости дуги постоянного тока. Однако было обнаружено, что при расстояниях 25...100 мм между круглыми параллельными медными и стальными проводниками диаметром 5 мм и токе не менее 100...180 А дуга не движется. Когда ток лишь немного больше 180 А, дуга сразу начинает двигаться со скоростью 1...2 м/с. Из этого можно сделать вывод, что дуга переменного тока более склонна к неподвижности, чем дуга постоянного тока. С увеличением скорости движения опорных точек дуги восстанавливающая прочность промежутка должна существенно возрастать вследствие снижения их температуры.

Электродинамическое воздействие на дугу. При постоянном токе электродинамическое воздействие на дугу с помощью соответствующего расположения токоведущих частей является эффективным, так как способствует быстрому движению ее в нужном направлении.

У выключателей, работающих при напряжении 380 В и частоте сети 50 Гц, критических токов не наблюдается, так как при малых токах, когда дуга не выбрасывается электродинамическими силами из области между контактами, она гаснет из-за высокого напряжения дугового промежутка $U_{\text{д}}$.

При разработке конструкции аппаратов следует принимать специальные меры, которые способствуют гашению электрической дуги (увеличение количества разрывов цепи, раствора контактов, электродинамического воздействия на дугу или притяжение ее к стальным деталям и т.д.)

Количество разрывов цепи. На переменном токе обычно используют дугогасительные камеры с несколькими металлическими пластинками (деионная решетка), которые установлены на пути дуги и разбивают ее на несколько частей.

Частота сети. Большое значение имеет скорость изменения тока перед тем, как он проходит через нуль, т.е. частота сети. При данном действующем значении тока в моменты времени, непосредственно предшествующие прохождению тока через нуль, мгновенное значение тока будет пропорционально частоте ($i = I \sin \omega t$).

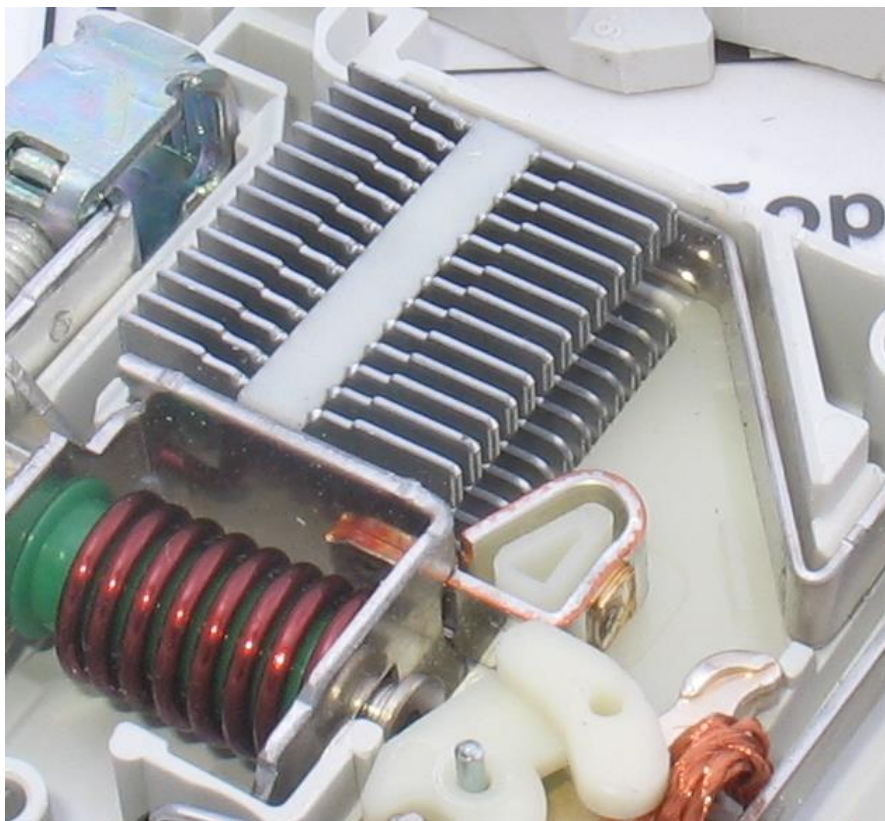
При повышенных частотах питающей сети (400 Гц и более) процесс гашения дуги существенно отличается от этого процесса при частоте 50 Гц. При этой частоте к каждому переходу тока через нуль температура дуги снижается на 30...50 % ее максимального значения. При повышенной частоте из-за инерции дугового разряда такого снижения температуры не наблюдается. Это затрудняет гашение дуги [2].

Гашение дуги в дугогасительных камерах. Электрическую дугу несложно погасить путем ее растяжения, но при этом коммутационный аппарат получится громоздким. Следовательно, таким же будет и электротехническое устройство. Задача заключается в том, чтобы ограничить распространение дуги и ее пламени и погасить дугу в малом объеме, что необходимо при создании компактных электрических аппаратов и устройств. С этой целью разрыв электрической цепи производят внутри дугогасительных камер, которые устанавливают в коммутационных аппаратах.

Конструкция камер должна быть такой, чтобы горячие ионизированные газы, которые могут вызвать пробой между соседними токоведущими частями, успевали охладиться и деионизироваться внутри камеры, перед тем как выйти за ее пределы. В некоторых аппаратах защиты камеры делают настолько герметичными, что горячие газы не успевают выйти из них до их охлаждения. При этом внутри камеры создается высокое давление.

Такую конструкцию камеры имеют трубчатые разборные предохранители серии ПР. Камера предохранителя представляет собой фибровый цилиндрический патрон, внутри которого находится плавкая вставка. Гашение дуги, возникающей при плавлении и перегорании плавкой вставки, происходит в среде высокого давления газов.

Для охлаждения и деионизации ствола дуги и газов, которые она образует внутри камер, создают развитую поверхность охлаждения. При этом дуга находится в узкой щели.



Создание в камерах узких щелей, предназначенных для прохождения дуги, ускоряет ее гашение и уменьшает выход горячих газов, если дуга в эти щели входит и движется до погасания. Если дуга в щель не входит из-за большого аэродинамического сопротивления, это может быть причиной замедленного гашения или появления устойчивой дуги из-за разогрева камеры, а также выброса газов в направлении, противоположном требуемому. Это особенно опасно при больших токах. Сужение щелей приводит, с одной стороны, к уменьшению выброса горячих газов, если дуга движется, с другой — к повышенному выделению тепла внутри камеры и к опасности получения затяжной дуги. Это особенно сказывается при частых отключениях электрической цепи (порядка тысячи в час).

Токоведущие и дугогасительные системы должны быть такими, чтобы гашение дуги происходило в течение минимального времени; отсутствовали перенапряжения, опасные для изоляции.