

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РАЗМЫКАНИЯ НА ЭЛЕКТРОИЗНОС ДУГОГАСЯЩИХ КОНТАКТОВ В АППАРАТАХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Волкова О.Г.

Запорожский национальный технический университет

Украина, 69059, Запорожье, ул. Жуковского, 64, ЗНТУ, кафедра " Электропривод и автоматизация промышленных установок"

тел. (0612) 34-76-78, E-mail: piramida83@mail.ru

У статті аналітичним та експериментальним способом досліджувався вплив швидкості розмикання на електроизнос дугогасійних контактів.

В статті аналітичним і експериментальним способом досліджувалось вплив швидкості розмикання на електроизнос дугогасящих контактів.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных технических характеристик коммутационных электрических аппаратов является срок их службы. Срок службы, как и межремонтные простои в значительной степени определяются стойкостью контактов к электроизносу и механическим повреждениям [1-7].

В наиболее жестких условиях работают дугогасящие электрические контакты. Большое количество эксплуатационных факторов создает трудности в моделировании дуговых процессов на контактах переключающих устройств, а попытки преодолеть подобные сложности ставят задачу привлечения обобщающих факторов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обобщающим фактором может являться энергия отключаемой цепи, благодаря которой производится сравнительный анализ и расчеты коммутационных устройств. Основываясь на анализе [2] энергию отключения дуги представим как энергию источника питания за вычетом потерь в омическом сопротивлении нагрузки плюс энергия электромагнитного поля нагрузки [3]. Или иначе, в электрической дуге выделяется энергия, запасенная в нагрузке, за вычетом потерь в омическом сопротивлении нагрузки.

$$W_D = \int_0^{\tau} (U_{И} \cdot i_{НГ} - i_{НГ}^2 \cdot R_{НГ}) dt + \frac{L_{НГ} \cdot i_{ОТ}^2}{2}, \quad (1)$$

$$W_D = \left(\frac{L_{НГ} \cdot i_{ОТ}^2}{2} - \int_0^{\tau} i_{НГ}^2 R_{НГ} dt \right) + \int_0^{\tau} (U_{И} \cdot i_{НГ}) dt, \quad (2)$$

где $\frac{L_{НГ} \cdot i_{ОТ}^2}{2}$ - электромагнитная энергия в нагрузке до момента отключения; $i_{НГ}$ - ток нагрузки; $i_{ОТ}$ - ток, проходящий в цепи до отключения; $U_{И}$ - напряжение источника питания; $R_{НГ}$ - активное сопротивление нагрузки; τ - время действия дуги; $L_{НГ}$ - индуктивность нагрузки.

Для определения вышеперечисленных факторов используются электрические схемы замещения от-

ключаемой цепи (рис. 1). Элементы электрической схемы представлены в виде системы уравнений [2].

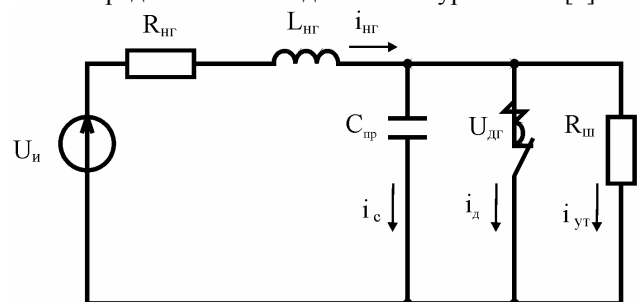


Рис. 1. Схема замещения отключаемой цепи

$$\begin{cases} L_{НГ} \frac{di_{НГ}}{dt} + i_{НГ} \cdot R_{НГ} + u_D = u_{И} \\ u_C = u_D \\ i_{УТ} \cdot R_{Ш} = u_D \\ i_{НГ} = i_D + i_C + i_{УТ} \\ i_C = C_{ПР} \frac{du_C}{dt} \\ u_D = i_D \cdot r_D \end{cases}, \quad (3)$$

где U_D - падение напряжения на дуговом промежутке; U_C - напряжение на конденсаторе; $C_{ПР}$ - емкость; $i_{УТ}$ - ток утечки; $R_{Ш}$ - шунтирующее сопротивление; i_C - ток в конденсаторе; $C_{ПР}$ - емкость сети, приведенная к контактам коммутационного аппарата; r_D - сопротивление дуги.

Из системы уравнений видно, что система не содержит аналитического решения, поскольку число неизвестных в системе превышает число уравнений. Лучший результат решения данных уравнений дает подход, где неизвестные определяются экспериментально, а U_D , r_D находят косвенно, в результате решения интегрально-дифференциальных уравнений описывающих сходные (тепловые, газодинамические и др.) процессы.

Столб дуги является накопителем определенного количества внутренней энергии. Эту энергию харак-

теризуют как геометрические параметры дуги (ее радиус, длина и форма столба), так и энергетические параметры рабочего пространства (распределение температуры, степень ионизации и ряд других). Очевидно, что при коммутации, эта энергия не может рассеиваться мгновенно. Следовательно, изменение тока, сопротивления дуги и отводимая мощность тоже обладают определенной инерционностью, которую необходимо максимально сократить. По сравнению с ними скорость движения дуги обладает низкой инерционностью, что представляет несомненный интерес для исследований.

Существующие математические зависимости имеют или слишком общий характер или не могут считаться вполне достоверными. Однако их несомненная ценность в том, что они дают качественную картину протекающих процессов и выявляют эффекты взаимодействия между основными факторами.

В большинстве работ напряжение на дуге промежутке представляется в виде [2-3]

$$U_D = e \cdot l_D + U_{\Sigma}, \quad (4)$$

где e, l_D, U_{Σ} – текущие значения: градиента напряжения, длины дуги и приконтактное падение напряжения соответственно. Следует отметить, что e являются функцией скорости движения дуги.

Учитывая, что геометрическая форма дуги крайне нестабильна, ее длину l_D привязывают к конкретным условиям проведения эксперимента. Например, для пальцевых контактов [3].

$$l_D = \sqrt{\beta^2 + g \cdot V_D^2 \cdot \tau^2}, \quad (5)$$

где β – межконтактное расстояние, V_D – скорость движения дуги, g – проводимость дуги.

Имеющиеся математические модели зависят от конструкции коммутационного аппарата, что недостаточно для построения обобщающей математической модели. Плотность тока является параметром определяющим энерговыделение. Известны зависимости плотности тока от скорости движения дуги, тока и межконтактного расстояния [3, 6]

$$j_D = 2 \cdot 10^6 \cdot V_D, \quad (6)$$

$$j_D = 4744 \frac{\sqrt{i_D}}{\beta^{0,75}}. \quad (7)$$

Скорость движения дуги определяется как:

$$V_D = 1.92 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{i_D \cdot H^2}{(1 + 0,1076 \cdot H^{0,3})^2}}, \quad (8)$$

где H – энтальпия столба дуги.

В процессе горения дуги ее параметры, а следовательно и ток, напряжение, выделяемая мощность не постоянны, поэтому при проведении расчетов необходимо использовать усредненные значения.

Теоретические исследования о влиянии скорости движения дуги на электроизнос контактов, а так же ее зависимость от скорости размыкания контактов нахо-

дит подтверждению в экспериментальных работах [4-6]. Авторы считают, что электроизнос контактов при больших токах в большей степени зависит от межконтактного расстояния, чем от контактных материалов. Следовательно, определяющим фактором выступает скорость изменения межконтактного расстояния за время коммутации (скорость размыкания).

По результатам экспериментальных исследований медных контактов при токе 20 кА [6] была построена зависимость их электроизноса от скорости размыкания (рис. 2), которая способна заменить оценку влияния двух моделирующих факторов: времени горения дуги и расстояния между контактами. Экспериментальная кривая близкая к степенной функции, указывает, что оптимальный скоростной режим размыкания контактов – менее 1 м/с.

Используя корреляцию яркости излучения с температурой столба дуги [7], а также связь усредненных электрических и геометрических параметров запишем

$$T = 1004 \sqrt{\frac{0,9 P_D}{d_D \cdot \pi \cdot l_D \cdot C_S}}, \quad (9)$$

где d_D, l_D – диаметр и длина дуги соответственно, C_S – поверхностная плотность излучения дуги, P_D – мощность дуги.

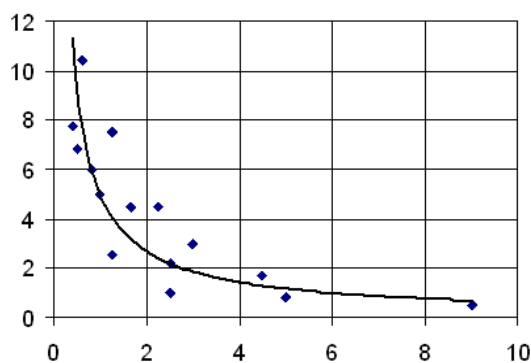


Рис. 2. Зависимость электроизноса контактов от скорости размыкания (ток размыкания 20 кА)

Очевидно, что для снижения температурного воздействия дуги при размыкании, необходимо увеличить длину дуги или увеличить диаметр столба дуги за возможно короткий промежуток времени. Наблюдения за результатами скоростной съемки электродугового процесса при размыкании контактов (рис. 3) полученные при проведении эксперимента [1], можно отметить, что скорость размыкания влияет на яркость свечения и диаметр дугового столба дуги, а следовательно и на температуру столба дуги.



а



б

Рис. 3. Развитие дугового электротермического процесса дугогасящих контактов в масляной среде: а – скорость расхождения контактов 1,85 м/с; б – скорость расхождения контактов 0,45 м/с

Такой характер повреждения контактов экспериментально подтверждает влияние скорости расхождения контактов на процесс дугогашения. При этом авторы по-разному оценивают роль скорости размыкания контактов. Причиной этому служит различная оценка процесса дугогашения в коммутационных устройствах. Одни исследователи, занятые подбором контактных материалов, оценивают дуговые процессы по электроизносу контактов (изменение веса или геометрии), других, интересует влияние рабочих условий на процесс дугогашения и оценкой при этом является время существования дуги. Рассматривать процессы электроизноса и время горения дуги в прямой зависимости нельзя. Горение дуги более длительное время, но при интенсивном перемещении ее по поверхности контакта не приводит к такой степени повреждения контактов, как воздействие малоподвижной дуги между близкорасположенными контактами за тот же период времени. Важно отметить, что наиболее эффективна высокая начальная скорость размыкания, а не средняя скорость, которую часто приводят исследователи в характеристиках коммутационных устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В существующих математических моделях электродуговых процессов влияние скорости размыкания на электроизнос контактов сформулирован недостаточно ясно и требует дальнейших исследований.

2. В анализе основных факторов описывающих энерговыделение дуги показана роль скорости движения дуги.

3. Скорость движения дуги существенно зависит от скорости размыкания контактов.

4. Для снижения электроизноса контактов рекомендуется увеличить скорость движения контактов на начальной стадии размыкания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зиновкин В.В., Волкова О.Г., Карпенко В.В. Исследование электротермических процессов в контактах переключающих устройств при резкопеременной нагрузке // Электротехника та електроенергетика. - 2007. - №1. - С. 52-57.
- [2] Мельничук В.Н. Разработка математических моделей процессов вхождения дуги в дугогасительную решетку. – В. кн.: Моск. город. конф. Молодых ученых и специалистов по повышению надежности, экономичности и мощности энергетического и электротехнического оборудования, посвященная 60-летию ВЛКСМ. Тезисы докладов конференции. М., 1978, С. 28-30.
- [3] Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов. - М.: Энергия, 1971. - 560 с.
- [4] Игнатко В.П., Кухтиков В.А. Исследование эрозионных процессов в условиях сильноточной квазистационарной дуги. – В кн.: Сильноточные электрические контакты и электроды. Киев, Изд-во АН УССР, 1972, С. 28-36.
- [5] Эрозия электродов в квазистационарной дуге атмосферного давления при токах $10^3 - 10^5$ А. II Международный симпозиум. Лодзь, 1973. Авт.: В.П. Игнатенко, А.П. Кресанова, В. А. Кухтиков и др.
- [6] Буткевич Г.В., Белкин Г.С., Ведешенков Н.А., Жаворонков М.А. Электрическая эрозия сильноточных контактов и электродов. – М.: Энергия, 1978. – 256 с., ил.
- [7] Макаров А.Н. Теплообмен в дуговых сталеплавильных печах. Тверь: ТГТУ, 1998. 184 с.

Поступила 12.10.2007