

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Т.П. Павленко, к.т.н., доц.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ"ХПИ".

Кафедра "Электрические аппараты. Тел (057) 707-68-64, E-mail: lvs@kpi.kharkov/

В данной работе проведен анализ математической модели дугового разряда, основанный на приведенных ранее экспериментальных и исследовательских данных, где показаны основные физические процессы, происходящие на рабочей поверхности контактов и влияющие на их коммутационную износостойкость.

У даній роботі проведений аналіз математичної моделі дугового розряду, заснований на приведених раніше експериментальних і дослідницьких даних, де показані основні фізичні процеси, що відбуваються на робочій поверхні контактів і впливають на їх комутаційну зносостійкість.

The analysis of mathematical model of arc digit is conducted in this work, based on the resulted before experimental and research information, where basic physical processes what is going on on the working surface of contacts and influencing on their commutation wearproof are shown.

Повышение эрозионной стойкости контактов было и остается главной задачей электроаппаратостроения. Как известно, поведение дуги в аппаратах низкого напряжения в значительной степени определяет величину эрозии контактов, особенно в тех случаях, когда дуга приобретает возможность направленного перемещения по поверхности контактов с выходом на дугогасительные рога.

Автором предлагается новое решение по инициированию перемещения основания дуги за счет особых термоэмиссионных свойств контактного материала, а именно, введение эмиссионно-активной фазы с низкой работой выхода в материал основы контакта. Такое решение способствует быстрому перемещению электрической дуги по рабочей поверхности контакта, что и привело к значительному уменьшению эрозии [1,2] Решение этой проблемы основано на предлагаемой автором трехмерной динамической модели и современных представлений о роли атомарных процессов и квантомеханической природе электронной эмиссии в катодных пятнах дуги [3.4.5].

Полученная на основе машинного моделирования информация позволила впервые выявить внутреннюю структуру и динамику развития элементарного катодного пятна,

оценить без привлечения экспериментальных данных такие важные параметры как удельная дуговая эрозия и катодное падение напряжения.

Одной из причин динамического характера параметров катодного пятна, в частности, распределения плотности тока является фактор трехмерной структуры температурного поля, т.к. оно среди других характеристик пятна обладает наибольшей инерцией и центральная часть катодного пятна не успевает достаточно быстро разогреться до температуры, необходимой для требуемого увеличения плотности тока.

Таким образом, единственной возможностью поддержания на прежнем уровне значения коммутируемого тока является рост прикатодного падения напряжения. По мере продвижения вглубь фронта испарения, вследствие инерционности температурного поля растут нормальные градиенты температур и интенсивность кондуктивного теплоотвода, что стимулирует еще более резкую контракцию тока на катоде. Дальнейшее развитие процесса ограничивается по той причине, что увеличение плотности тока происходит преимущественно за счет электронной компоненты. Вызванное этим обстоятельством снижение доли ионного тока, плотности положительного заряда у катода не может быть в полной мере скомпенсировано за счет роста катодного напряжения.

В итоге, в зависимости от параметров коммутируемой цепи происходит либо обрыв дуги, либо образование на другом месте нового эмиссионного центра. Время жизни эмиссионного центра существенно зависит от коммутируемого тока, геометрии области, структуры начального распределения температурного поля и находится в пределах 0,01...1 мкс.

Таким образом, с позиций, высказанных теоретических положений, процесс коммутации дугой тока представляет собой дискретную, приблизительно периодическую последовательность актов инициации и распада эмиссионных центров, сопровождающихся скачками катодного напряжения.

Данный вывод согласуется с результатами известных экспериментальных исследований [6]. Соответствие теоретических и экспериментальных оценок удельной дуговой эрозии и катодного падения напряжения свидетельствует об адекватности модели и позволяет предположить, что в исследуемых режимах эрозии катода вызывается преимущественно эмиссией нейтралов в парообразной форме.

Эволюция эмиссионного центра при токах ниже пороговых характеризуется монотонным снижением температуры и резким ростом напряжения, за 30-40 мкс достигающих значений, соответствующих тлеющей форме разряда.

Моделирование на ЭВМ показало существование резко выраженной зависимости параметров разряда от начального распределения температур, наличия или отсутствия микровыступов на поверхности катода.

Механизм инициации новых катодных пятен связан с кондуктивным и лучистым разогревом отдельных микровыступов, контактирующих с плазмой положительного ствола дуги, и переходом в связи с этим эмиссии на выступах в термоэлектронный режим.

Данное положение согласуется с известными экспериментальными фактами.

Таким образом, разработанная математическая модель и расчеты, проведенные на основе соответствующего программного обеспечения, позволяют дать ответ на ряд ключевых вопросов физики дугового разряда:

- механизм эмиссии в катодных пятнах имеет квантовую (туннельную) природу;
- важнейшими атомарными процессами в области катодного падения напряжения являются ионизация и резонансная перезарядка;
- предполагается, что основную компоненту ионного тока составляют ионизированные атомы, поступающие в зону ионизации в результате испарения с поверхности катода;
- эрозия электродов происходит преимущественно в парообразной форме (подтверждено экспериментами).

Модель может служить основой для программного комплекса ориентированного на расчет важнейших технических параметров и научно-обоснованный выбор материалов низковольтных коммутационных аппаратов и ряда других электроразрядных систем.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Крыгина Т.П., Павленко Ю.П., Гапоненко Г.Н. Электрические контакты высокой эрозионной стойкости. Сб. науч. тр. "Низковольтные аппараты управления и защиты", Харьков, 1993

[2] Крыгина Т.П., Павленко Ю.П. Испытания нового дугостойкого контактного материала в автоматических выключателях и контакторах. Тезисы доклада конфер. "Состояние и перспективы развития производства аппаратов низкого напряжения, Харьков, 1990.

[3] Павленко Т.П. Анализ явлений дугового разряда. //Электротехника-Электромеханика. Сб.науч.тр. НТУ"ХПИ", №3, Харьков,2005

[4] Павленко Т.П. Квантомеханический расчет тока термоэлектронной эмиссии//Электротехника- Электромеханика. Сб.науч.тр. НТУ"ХПИ", № 4, Харьков, 2005.

[5]. ПавленкоТ.П. Оценка сечения резонансной перезарядки поверхности электрода. Вестник НТУ "ХПИ". Сб.научн. тр. MicroCAD-2005, Харьков, 2005

[6] Пучкарев В.Ф. и др. Нестационарные процессы в катодном пятне вакуумной дуги в области пороговых токов. ЖТФ, 1987, т.57, № 12, с.2324-2330.