

УДК 621.43.04.002.5.001

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНОГО ПАДЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА В РАЗРЯДНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

Куляпин В.М., Аслямов И.М.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет Министерства образования и науки РФ», Уфа Россия (450000, Уфа, ул. К. Маркса, 12), e-mail: a.irek@mail.ru

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований параметров катодного падения потенциала в электрических разрядах для различных материалов катодов. Приведены статистические функции распределения катодных параметров. Представлена методика проведения испытаний катодных материалов на эрозионную стойкость. Показано, что для исследования катодных процессов необходимо использовать статистические методы анализа. Приведена схема экспериментальной установки, позволяющей проводить исследования эрозионной стойкости для различных материалов катодов. Приведены графики плотности распределения частоты колебаний спектра и график экспериментальной зависимости частоты колебаний от тока, по которым определяется эрозионная стойкость материалов катодов. На основе метода испытаний материалов катодов определена оптимальная область токов коммутации для конкретных материалов.

Ключевые слова: катодные процессы, электрический разряд, количество электричества, аппараты защиты.

EXPERIMENTAL STUDY CATHODE POTENTIAL DROP IN THE DISCHARGE GAP PROTECTION DEVICES

Kulyapin V.M., Aslyamov I.M.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, street K. Marksa, 12), e-mail: a.irek@mail.ru

The article describes the results of experimental studies of the parameters of the cathode potential drop in electrical discharges for different cathode materials. Contains the statistical parameters of the distribution function of the cathode. The technique of testing cathode materials for erosion resistance. It is shown that for the study of cathode processes necessary to use statistical methods of analysis. Shows a diagram of the experimental setup allows the study of the erosion resistance of different cathode materials. The graphs of the density distribution of the oscillation frequency of the spectrum, and the schedule of the experimental dependence of the oscillation frequency of the current, which is determined by the erosion resistance of cathode materials. On the basis of the test method cathode materials determined the optimum area for switching currents of specific materials.

Keywords: cathodic processes, electric discharge, the amount of electricity, protection devices.

Рост требований, предъявляемых к современным летательным аппаратам по высоте и скорости полета, ставит ряд сложных задач по обеспечению надежного функционирования элементов и устройств систем управления при изменении условий работы на всех режимах полета, включая аварийные. Статья посвящена рассмотрению процессов коммутации в аппаратах защиты систем управления космических аппаратов. Короткое замыкание представляет тяжелый режим, и защита от коротких замыканий является обязательным видом защит практически всех систем, чтобы предупредить тяжелые последствия, к которым могут привести возможные аварийные режимы, связанные с отказом отдельных элементов систем управления. Кроме обычных требований, предъявляемых к авиационному оборудованию, к аппаратам защиты космических кораблей предъявляются специальные требования по обеспечению работы при изменении давления окружающей среды от атмосферного до космического вакуума. Необходимо выбрать метод надежного отключения

токов короткого замыкания. Отсутствие экспериментальных исследований и слабая проработка теоретических вопросов не позволяли дать практические рекомендации по созданию аппаратов защиты для систем управления космических аппаратов. Исследования катодных процессов в электрических разрядах позволят вскрыть основные закономерности и разработать надежные устройства защиты для систем управлений в космических аппаратах.

Математические модели катодных процессов приведены в работах [1, 4].

В этой статье представлены результаты экспериментального исследования катодного падения потенциала методом спектрального анализа.

Рассмотрения эмиссионных и теплофизических процессов в элементарных катодных пятнах позволяют получить параметры в области катодного падения потенциала. Полученные параметры в катодной зоне являются усредненными значениями больших количеств катодных процессов, и для их описания необходимо получить интегральные характеристики. Получение функций распределений очень важно для экспериментальных и теоретических исследований процессов в электрических разрядах на границе катода с плазмой. При определении параметров в области катодного падения потенциала необходимо учитывать вероятность существования данного события, и расчетные параметры находить как значения средние с использованием методов теорий вероятности.

В первую очередь это относится к определениям плотностей токов в катодных пятнах. Повышение разрешающих способностей экспериментальных методов исследований позволяет регистрировать более высокие значения плотностей токов, но вероятности их появлений становятся меньше. Поэтому при экспериментальных определениях параметров приходится применять методы статистического анализа и вносить средние значения изучаемых параметров.

В области катодных падений потенциалов, из всех параметров, возможно экспериментально получить функции распределения продолжительностей существования элементарных катодных пятен. Из результатов экспериментальных исследований, представленных в работах И.Г. Кесаева [2], по измерениям продолжительностей жизни элементарного катодного пятна и изучением спектров колебаний падений потенциалов в вакуумных дугах, плотности распределения продолжительностей существований элементарных катодных пятен подчинено закону: $\varphi(\bar{t}) = K / \bar{t}$, где K – параметр распределения. Применяя это распределение, получают функции распределения вероятностей параметров в области катодного падения потенциала.

На основе разработанной количественной теории катодных процессов [5] предложен метод испытаний катодных материалов на износостойкость. Метод основан на анализе спектра колебаний потенциала электрической дуги, обладает высокой разрешающей

способностью и малой трудоемкостью. Установлена связь между спектральным разложением и поведением реальных колебательных систем.

Из статистической теории катодных процессов следует, что спектр катодного пятна дискретен, а параметры разряда определяются интегральным воздействием многократно повторяющихся элементарных процессов. Дискретность процессов определяет низкочастотные колебания катодного падения потенциала. Поэтому, изучая спектры колебаний низковольтных дуг, можно определять функции распределений и средние значения длительностей существований элементарного катодного пятна. На основании полученных спектров колебаний падения потенциала определяется скорость электрической эрозии материала.

Представляется разумным рассмотреть зависимость скорости электрической эрозии на поверхности контактов от длительности существования элементарного катодного пятна. Количество металла, удаленного с катода за один элементарный акт распада пятна [5], определяется объемом сферической лунки с радиусом, равным глубине плавления металла.

$$\Delta m = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \rho \cdot r_0^3;$$

где ρ – плотность материала катода; r_0 – глубина плавления.

В единицу времени происходит $1/t_e$ актов распада (t_e – длительность существования катодного пятна), то скорость электрической эрозии материала катода в г/с можно определить из уравнения [5]:

$$m' = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \frac{r_0^3}{t_e}.$$

Глубина плавления r_0 является сложной функцией от теплофизических постоянных материалов катода, а также от длительностей существований элементарного катодного пятна. Зависимость глубины плавления от длительности представлена функцией [5].

$$r_0(t_e) = k \cdot \sqrt{t_e};$$

где k – коэффициент пропорциональности, учитывает теплофизические параметры катода. Тогда скорость электрической эрозии в зависимости от длительности существований катодного пятна представлена в виде [5]:

$$m' = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \rho \cdot k^3 \cdot \sqrt{t_e} = K \cdot \sqrt{t_e}; \text{ или}$$

$$m' = \frac{K}{\sqrt{f}}, \tag{1}$$

где $f = 1/t_e$ – частота следования актов распада, равная частоте колебаний потенциала электрической дуги, K – коэффициент, учитывающий теплофизические параметры материала катода.

На основе полученного соотношения (1) предложен метод исследования износоустойчивости катодов из различных материалов при различных условиях эксплуатации. Основой метода является получение спектральной характеристики низкочастотных колебаний потенциала дуги. Спектр катодного пятна получается экспериментально с помощью анализатора спектра частотных характеристик С4-25. Спектры колебания потенциала дуги можно с помощью анализатора получить для различных металлов при различных значениях тока дуги и при самых разных внешних условиях.

Плотность распределения вероятности частоты колебания напряжения дуги описывается уравнением вида [2]: $g(f) = C/f$, где $C = 0,065$ постоянная распределения.

Для каждого значения тока определяется средняя частота колебаний напряжения дуги [2]:

$$f_{CP} = \int_1^{f_{max}} f \cdot g(f) df = C \cdot f_{MAX}.$$

По результатам расчета строится зависимость средней частоты колебаний потенциала в функции величины тока (рис. 2).

Схема экспериментальной установки представлена на рис.1.

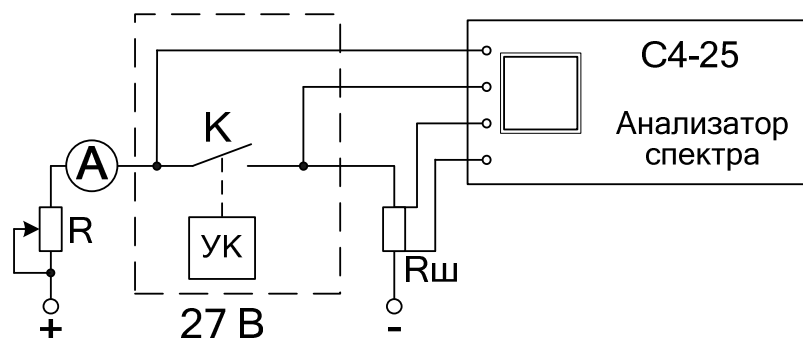


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Методика проведения испытаний. Для проведения испытания была предложена экспериментальная установка (рис. 1), состоящая из анализатора спектра, амперметра, регулировочного резистора – R , фотоаппарат, размыкаемый контакт – K , устройства управления коммутацией – $УК$. Величина тока задается регулировочным резистором R .

В момент размыкания контакта K устройством $УК$ сигнал потенциала дуги подается на анализатор спектра. Спектр с анализатора регистрируется фотоаппаратом. Из полученных спектрограмм рассчитали плотность распределения частоты колебаний спектра (рис. 2).

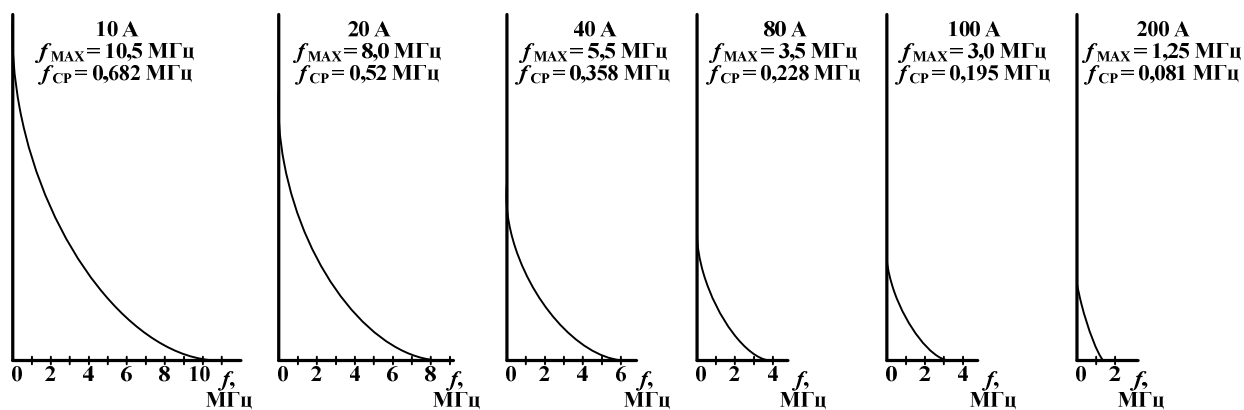


Рис. 2. Плотность распределения частоты колебаний спектра

Из плотности распределения получили кривые зависимости частоты колебаний от токов (рис. 3)

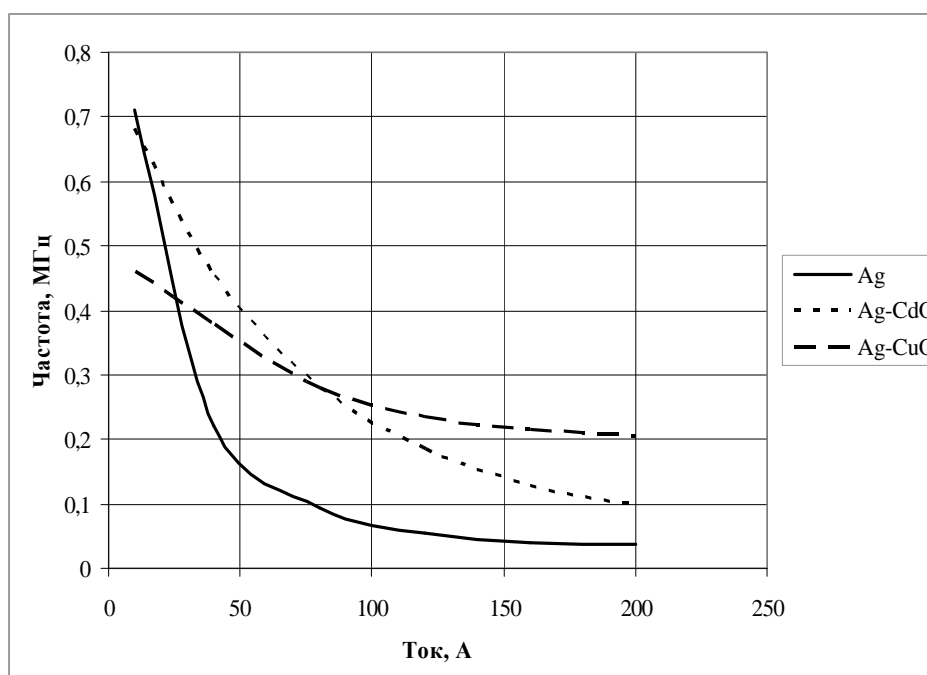


Рис. 3. Экспериментальные зависимости

Как видно из приведенных кривых (рис. 3), в области токов до 12А наибольшая частота колебаний, соответственно наименьшая скорость эрозии, наблюдается у серебра. В диапазоне токов от 12 А до 80 А – минимальная скорость электрической эрозии у материала серебро и окись кадмия и при токах больше 80 А максимальной износоустойчивостью обладает материал серебро и окись меди. Зная такие данные по износоустойчивости, можно рекомендовать применение материала в той или иной области. Рекомендовано применение серебра для выключателей до 15 А, серебро и окись кадмия – для выключателей до 75 А, серебро и окись меди – выключателей до 150 А.

Таблица 1

Сравнение расчета с экспериментом

Металл	m'·10 ⁻³ , г/с	
	Расчет	Эксперимент
Серебро	770	804
Железо	42	48
Медь	210	165

Из табл. 1 видно, что соответствие расчета [4] и эксперимента [3] удовлетворительное. Из уравнений, полученных в работах [1, 4], следует, что масса материала, эродирующего на единицу количества электричества, прямо пропорциональна воздействию тепловому потоку и обратно пропорциональна приращению энтальпий фазового превращения. В уравнениях определяющим параметром является скрытая теплота парообразования, и большая масса материала эродируется в жидком состоянии. Это объясняется зависимостью расплавленной зоны металла от энергии поверхностного источника, распределяемой пропорционально теплофизическим постоянным материалов. На испарение идет большая часть энергии, а остальная тратится на передачу теплоты в электрод и на плавление металла.

Выводы:

1. Метод ускоренных испытаний катодных материалов позволяет целенаправленно вести разработку новых катодных материалов повышенной износоустойчивости с целью замены драгоценных материалов.
2. На лабораторной установке, для получения спектральных характеристик коммутационных материалов при длительности горения дуги в пределах от 1 мс до 20 мс, были получены спектры колебаний коротких дуг в процессе коммутации цепей постоянного тока с напряжением 28 В на контактах из серебра, серебро-окись кадмия, серебро-окись меди. Сравнение экспериментальных значений скорости электрической эрозии и спектра колебаний показало удовлетворительную корреляцию этих двух характеристик, что позволяет рекомендовать разработанную методику в качестве ускоренных испытаний контактных материалов на износоустойчивость.
3. На основе метода ускоренных испытаний катодных материалов была определена оптимальная область токов коммутации для материалов: серебро, серебро и окись кадмия, серебро и окись меди.

Список литературы

1. Катодные процессы электрических разрядов / В.М. Куляпин, И.М. Аслямов // Вестник УГАТУ. – Т 13. – № 1. – Уфа: УГАТУ, 2009. – С. 180-186.
2. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. – М.: Наука, 1968. – 244 с.

3. Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме. – Новосибирск: Наука, 1984. – 256 с.
4. Электрический разряд в системах электрооборудования летательных аппаратов / В.М. Куляпин, И.М. Аслямов // Электрические контакты и электроды: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. – Киев, 2008. – С. 23-31.
5. Эрозия металлов под действием электрических разрядов / В.М. Куляпин // Электрические контакты и электроды: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. – Киев, 2011. – С. 74-81.

Рецензенты:

Рогинская Л.Э., д.т.н., профессор кафедры «Электромеханика» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет Министерства образования и науки РФ», г. Уфа.

Гизатуллин Ф.А., д.т.н., профессор кафедры «Электромеханика» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет Министерства образования и науки РФ», г. Уфа.