

УДК 620.179.1.082.7

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
КОНТАКТНЫХ ПАР РАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Г. И. УТКИН, В. В. МАРКОВ

ФГБОУ ВПО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

Орёл, Россия

Разъёмные электрические соединители – широко распространённые компоненты радиоэлектронной и электромеханической аппаратуры. Основным функциональным элементом разъёмного соединителя, предназначенного для коммутации токоведущих частей аппаратуры, является контактная пара. Согласно статистическим данным предприятий-изготовителей разъёмов, около 75 % отказов разъёмных электрических соединителей происходит из-за износа их контактных пар, а отказ электрического соединителя, в свою очередь, является одним из наиболее типичных видов отказов радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры. В связи с этим особое значение приобретает решение задачи обеспечения высокой износостойкости контактных пар как основного показателя надёжности электрических соединителей [1].

Изделия радиотехники и электронно-вычислительной техники имеют в своём составе значительное количество разъёмных соединителей, которые, в свою очередь, состоят из многих контактных пар. Например, прямоугольный электрический соединитель типа СНП-260 имеет 135 контактных пар. Разъёмным электрическим соединителям присваиваются высокие значения показателей надёжности: минимальная наработка – 500 сочленений-расчленений (т.е., замыканий и размыканий) и 10 тыс. ч при работе под электрической нагрузкой; срок сохраняемости (в упаковке) – 12...15 лет. Руководящим документом РМ 25446-90 для каждой контактной пары устанавливается номинальная интенсивность отказов в диапазоне от  $0,005 \cdot 10^6$  до  $0,02 \cdot 10^6$  1/ч, в зависимости от типа конструкции соединителя (это сопоставимо с интенсивностью отказов резисторов). Такие высокие показатели надёжности формируются в результате разработки конструкций контактных пар, гарантирующих безотказную работу соединителя в течение его назначенного ресурса. По окончании назначенного ресурса разъёмного электрического соединителя возникает актуальная проблема, заключающаяся в обосновании возможности и продолжительности его дальнейшей эксплуатации или, наоборот, в доказательстве факта его предельного износа и необходимости утилизации. Решение данной проблемы создаёт предпосылки для продления ресурса соединителей, организации ремонтно-восстановительных работ на предприятиях-изготовителях, что, в конечном счёте, позволит решить задачу экономии серебра при производстве соединителей за счёт его рационального на-

несения на поверхности деталей контактных пар, восстановления покрытия на изношенных контактах и переработки утилизированных деталей.

Решение указанной актуальной проблемы заключается в разработке метода контроля показателей надёжности и прогнозирования остаточного ресурса контактных пар разъёмных электрических соединителей, а также в создании принципов построения средств контроля контактных пар.

*Целью работы* является проведение теоретических исследований влияния различных видов износа рабочих поверхностей контактной пары на показатели надёжности и числовые характеристики функции переходного сопротивления контакта.

Известна модель износа контактной пары, согласно которой интенсивность изнашивания поверхности определяется по параметру – объём изношенного материала ( $\Delta W_p$ ) за некоторое число коммутаций ( $N_x$ ) [1]:

$$\Delta W_p = \frac{P \cdot t \cdot N_x \cdot I}{2}, \quad (1)$$

где  $P$  – постоянная материала;  $t$  – время горения дуги;  $I$  – сила тока перед замыканием.

Из формулы (1) видно, что известная модель учитывает влияние свойств материала, силу тока в цепи, скорость и количество коммутаций.

Кроме размыкания, соединитель изнашивается в незамкнутом состоянии (коррозия), при замыкании (искровой разряд и мостиковая эрозия) и в замкнутом состоянии (фреттинг-коррозия). Интенсивность износа поверхности контакта можно определить по формуле:

$$\Delta W = \Delta W_K + \Delta W_Z + \Delta W_F + \Delta W_p, \quad (2)$$

где  $\Delta W_K$  – износ, вследствие коррозии поверхности;  $\Delta W_Z$  – износ при замыкании контактной пары;  $\Delta W_F$  – износ при фреттинге;  $\Delta W_p$  – износ при размыкании.

Электрический износ в замкнутом состоянии обусловлен процессом фреттинга, который характеризуется ускоренным разрушением в контакте. Математически это можно записать в следующем виде:

$$\Delta W = F_1(k_n) + F_2(x_n) + F_3(y_n), \quad (3)$$

где  $F_1, F_2, F_3$  – функции групповых факторов;  $k_n, x_n, y_n$  – аргументы зависимых функций.

При замыкании контактов происходит пробой воздушного пространства, вследствие чего между контактами проскакивает искра. Пробой воздушного промежутка между поверхностями электрических контактов зависит от расстояния между поверхностями, но не от неоднородности воздуха, разделяющего выступы. При разряде с поверхности контакта, являющегося *анодом*, вырывается частица материала. Масса  $m$  частицы практически пропорциональна электрическому заряду  $q$ , переносимому искрой [4]:

$$m = k \cdot q, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от состава материала контакта и от среды, заполняющей промежуток между контактами.

В свою очередь, значение заряда  $q$  определяется электрическим напряжением  $U$  между контактами соединителя и ёмкостью  $C$  между ними:

$$q = U \cdot C. \quad (5)$$

Следовательно, для уменьшения массы частицы материала, вырываемой из анода искрой, надо уменьшать значение ёмкости  $C$ . Данная ёмкость состоит из трёх составляющих:

$$C = C_k + C_{пр} + C_{вх}, \quad (6)$$

где  $C_k$  – ёмкость между поверхностями сближающихся в процессе замыкания контактов, достигающая своего максимального значения к моменту проскакивания искры;  $C_{пр}$  – ёмкость между выводами контактов в соединителях и проводами, подключающими соединитель к элементам коммутируемой аппаратуры;  $C_{вх}$  – входная ёмкость коммутируемой аппаратуры.

Зависимость объёма изношенного материала ( $\Delta W_z$ ) за некоторое число коммутаций ( $N_x$ ) при замыкании имеет вид:

$$\Delta W_z = k \cdot U \cdot C_{ex} \cdot N_x. \quad (7)$$

Общую систему уравнений, описывающих электрический износ при различных состояниях работы контакта можно представить в виде:

$$\begin{cases} \Delta W_p = (P \cdot t \cdot N_x \cdot I) / 2 \\ \Delta W = F_1(k_n) + F_2(x_n) + F_3(y_n) \\ \Delta W_z = k \cdot U \cdot C_{ex} \cdot N_x \end{cases} \quad (8)$$

Анализ факторов, влияющих на надёжность контактной пары показывает, что расчёт степени износа может быть выполнен с помощью математической модели, учитывающей объём изношенного материала при замыкании, в замкнутом состоянии и при размыкании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мышкин, Н. К. Электрические контакты / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. – Долгопрудный : Издательский дом «Интеллект», 2008. – 560 с.

E-mail: [pms35vm@yandex.ru](mailto:pms35vm@yandex.ru)