

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЛАБОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАПЫЛЕННОСТИ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е. С. Люминарская

**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
(Москва, Россия)**

DETERMINATION OF TRANSIENT RESISTANCE LOW-CURRENT ELEKTRIC CONTACTS IN DUSTY CONDITIONS THE CONTACT SURFACES

E. S. Lyuminarskaja

**Bauman Moscow State Technical University
(Moscow, Russia)**

В докладе предложена математическая модель определения сопротивления переходной зоны запыленных электрических контактов, основанная на комплексной методике расчета механического взаимодействия контактных поверхностей.

Переходная зона электрических контактов обычно представляется в виде контакта шероховатых поверхностей, которые взаимодействуют отдельными микровыступами [1-2]. При моделировании шероховатые поверхности заменяются эквивалентными поверхностями, которые представляют собой набор упругих сегментов, случайным образом расположенных на упругом основании. Высота микровыступов считается случайной величиной, а радиусы всех выступов – одинаковыми. Закон распределения высот и радиус микровыступов выбираются в зависимости от шероховатости контактных поверхностей [3].

В отличие от ранее предложенных методик данная методика учитывает:

- возможность упругой, упругопластической и пластической деформаций отдельных выступов контактных поверхностей в зависимости от нагрузки на них;
- упругую деформацию основания, на котором располагаются сферические выступы, моделирующие шероховатые поверхности;
- изменение характеристик выступов при повторной нагрузке из-за пластических деформаций отдельных выступов;
- возможность попадания пыли на контактные поверхности.

При расчете все выступы разделяются на три группы. К первой группе относятся взаимодействующие между собой выступы, ко второй – невзаимодействующие выступы. К третьей группе относятся выступы, между которыми расположены частицы пыли.

Сила взаимодействия двух выступов определяется через их сближение, которое зависит от сближения поверхностей вершин, высот микровыступов и их пе-

ремещения как жестких тел на упругом основании. Если относительное сближение двух взаимодействующих выступов меньше $6.7 \sigma_T^2 \cdot r_p / E_p^2$, то сила взаимодействия и радиус пятна контакта определяются по формулам Герца, в противном случае – по формулам, предложенным в работе [1] для упругопластической и развитой пластической деформаций сферических выступов. В приведенной формуле E_p , r_p – приведенный модуль упругости и приведенный радиус выступов; δ_T – предел упругости материалов контактов.

Частицы пыли неправильной формы заменяются эквивалентными шарами, диаметр которых определяется по формуле:

$$d = \sqrt{L \cdot B}, \quad (1)$$

где L, B – два наименьших размера во взаимно перпендикулярных направлениях.

Диаметр частиц пыли считается случайной величиной, имеющей закон распределения Рэлея. Координаты выступов являются независимыми случайными величинами с равномерным законом распределения.

В математической модели предполагается, что взаимодействие двух выступов с частицей пыли носит упругий характер. Силы взаимодействия в этом случае определяются по формуле Герца. Если при взаимодействии растягивающие напряжения в центре пылинки окажутся больше предела прочности материала пылинки, то пылинка разрушается и не влияет на расчет.

При взаимодействии микровыступов возникают упругие и пластические деформации. После снятия нагрузки при первой коммутации упругие деформации исчезают, а пластические остаются. При этом изменяются высоты и радиусы микровыступов. В предложенной математической модели эти изменения учитываются такими параметрами как относительная величина пластического уменьшения высоты выступа и коэффициент увеличения радиуса вершины выступа. Данные параметры получены путем расчетных исследований методом конечных элементов в программной среде ANSYS.

На первом этапе моделирования набором сферических сегментов задаются шероховатые поверхности и определяются диаметры частиц пыли, которые случайным образом располагаются на контактных поверхностях. На втором этапе задается сближение контактных поверхностей. Через сближение контактных поверхностей определяются сближения микронеровностей, силы взаимодействия и радиусы пятен контактов отдельных выступов. Перемещения микровыступов как жестких целых на упругом основании зависят от сил их взаимодействия. Поэтому расчет выполняется итерационным способом. На первой итерации деформация упругих оснований не учитывается. Перемещения выступов из-за деформации упругого основания определяются по формулам, используемым для расчета упругого полупространства при воздействии нормального давления.

Сопrotивление переходной зоны представляется в виде параллельного соединения сопротивлений отдельных микровыступов.

Поверхности микровыступов покрыты пленками. Если среднее контактное давление двух микровыступов больше предела прочности пленки, то сопротивление контактирующих микровыступов обуславливается только стягиванием линий тока к площадке пятна контакта [1,2] и определяется по формуле:

$$R_{pi} = \gamma \cdot (\rho_1 + \rho_2) / (4 \cdot r_{ai}) \quad , \quad (2)$$

где ρ_1, ρ_2 – удельные сопротивления материалов контактов; r_{ai} – радиус пятна контакта двух выступов.

Сопротивление двух выступов с частично разрушенными пленками превышает их сопротивление без поверхностных пленок, при расчете это учитывается коэффициентом γ [1].

Если под действием контактной силы поверхностные пленки не разрушены, то сопротивление контактирующих выступов складывается из сопротивления стягивания и поверхностного сопротивления пленок и определяется по формуле:

$$R_{pi} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4 \cdot r_{ai}} + \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{\pi \cdot r_{ai}^2} \quad , \quad (3)$$

где δ_1, δ_2 – удельные сопротивления поверхностных пленок.

Для теоретического исследования были выбраны медные контакты со сферическими поверхностями с радиусами 3мм и следующими параметрами микронеровностей: средний шаг неровностей профиля $S_{m1} = S_{m2} = 30$ мкм; радиус сферических выступов, моделирующих шероховатые поверхности $r = 50$ мкм; высота сглаживания профиля $R_{p1} = R_{p2} = 0,9$ мкм; параметры опорной кривой $v_1 = v_2 = 3$, $t_{m1} = t_{m2} = 0,5$. Номинальная сила взаимодействия контактов $F_{ном} = 0,7$ Н .

Расчетные исследования коммутации микропереключателей показывают, что при дребезге контактов максимальная сила взаимодействия контактов превышает номинальное значение почти в 10 раз. Такая большая сила действует короткое время (~5мкс). Этот короткий импульс может разрушить частицы пыли, расположенные на контактных поверхностях. Поэтому на первом этапе расчета контакты нагружались силой, превышающей номинальное значение в 10 раз, и определялось количество разрушенных частиц пыли. На втором этапе контакты нагружались номинальной силой, и определялось электрическое сопротивление.

По предложенной методике была получена зависимость вероятности сбоя Р от концентрации частиц пыли на контактных поверхностях v_c (количества частиц пыли на 1 мм² контактной поверхности). Сбой фиксировался по величине переходного сопротивления. Если переходное сопротивление превышало номинальное значение в два и более раз, то условно фиксировался сбой. Расчеты выполнялись методом статистических испытаний. При этом случайными величинами принимались диаметры частиц пыли, координаты расположения пылинок и высоты микровыступов. Результаты расчета приведены на рис.1.

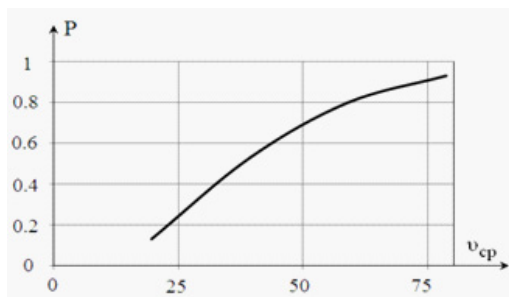


Рис.1. Зависимость вероятности сбоя от концентрации частиц пыли на контактных поверхностях

Выводы

1. Предложена методика определения переходного сопротивления, учитывающая возможную запыленность контактных поверхностей, образование пленок на поверхностях контактов и изменение шероховатости контактных поверхностей в результате пластических деформаций.

2. Для исследуемых контактов получена зависимость вероятности сбоя от концентрации частиц пыли. При концентрации частиц пыли до 20 частиц на вероятность сбоя может достигать 15%.

Библиографический список

1. Измайлов В. В. Контакт твердых тел и его проводимость: монография / В. В. Измайлов, М. В. Новоселова. – Тверь: ТГТУ, 2010. – 112 с.
2. Holm R. Electrical Contact. – New York: Springer, 1979.
3. Демкин Н. Б. Контактное шероховатых поверхностей / Н. Б. Демкин. – М.: Наука, 1970. – 227 с.

References

1. Izmaylov V. V. & Novoselova M. V. Kontakt tverdyh tel i ego provodimost': monografiya [Contact solids and conductivity]. Tver', 2010. 112 p.
2. Holm R. Electrical contact, 1979.
3. Demkin N. B. Kontaktirovanie sherohovatyh poverhnostej [The contacting rough surfaces]. Moscow, 1970. 227 p.

Сведения об авторе:

Люминарская Екатерина Станиславовна, e-mail: lyuminarskaja.caterina@yandex.ru

Information about author:

Eкатерина S. Lyuminarskaja, e-mail: lyuminarskaja.caterina@yandex.ru