

ВЛИЯНИЕ УСИЛИЯ ЗАМЫКАНИЯ РАЗРЫВНЫХ КОНТАКТОВ НА ПЕРЕХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Наведені результати досліджень впливу нормальному та тангенціальній складовій зусиль замикаання електричних контактів на перехідний опір. Показано, що наявність тангенціальної складової призводить до збільшення фактичної площі контакту та зниженню перехідного опору.

Приведены результаты исследований влияния нормальной и тангенциальной составляющей усилий замыкания электрических контактов на переходное сопротивление. Показано, что наличие тангенциальной составляющей приводит к увеличению фактической площади контакта и снижению переходного сопротивления.

ВВЕДЕНИЕ

Влияние переходного сопротивления на энергопотери в разрывных контактах особо активно проявляются в процессе коммутации. Хорошо известно, что характер этих потерь обусловлен двумя основными факторами: микрогеометрией контактных поверхностей и наличием на них поверхностных пленок. В нормальных условиях эксплуатации для сильноточных контактов первый фактор является определяющим, что многократно находило экспериментальное подтверждение, как например, в эмпирической зависимости Н.Е. Лысова [1]:

$$R = \frac{k}{(0,1 \cdot P_k)^m} \times 10^{-6}, \quad (1)$$

где R – переходное сопротивление; P_k – усилие сжатия контактов; m , k – коэффициенты, зависящие от конструкции контактов и вида контактных материалов.

На практике, снижение переходного сопротивления с ростом усилия замыкания происходит неравномерно, с постепенным приближением к относительно стабильному значению. Это объясняется механическими процессами упрочнения сжимаемых микровыступов контактной поверхности и стабилизацией площади фактического контакта. Дальнейшее наращивание усилия замыкания контактов становится малоэффективным.

Однако увеличить фактическую площадь контакта можно и без увеличения усилия замыкания, а путем более рационального распределения его по контактной поверхности. Теоретические предпосылки к этому утверждению основаны на модели процесса взаимодействия контактных поверхностей разработанной Р. Хольмом и др. [2, 3]. Так, например, на рис. 1,а показан механизм образования фактической площади контактного взаимодействия под действием нормального усилия замыкания P_k .

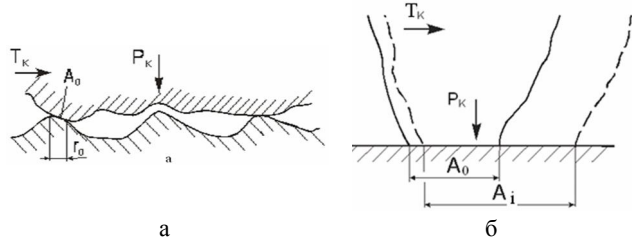


Рис. 1. Схема контактного взаимодействия при сложном нагружении (а) единичной точки (б)

Тогда площадь единичного контакта микронеровностей A_i представляется круговой поверхностью радиуса r_0 :

$$r_0 = \sqrt{\frac{P_{ki}}{\pi H}}, \quad (2)$$

где P_{ki} – нормальное усилие замыкания, приходящее-

ся на единичное пятно контактной поверхности; H – контактная твердость.

Если в таком состоянии к замкнутым контактным деталям приложить дополнительно касательное усилие T_k , то это увеличит площадку единичного контакта A_i , преобразовав ее в форму эллипса (рис. 1,б). Объяснение роста площади контакта под действием одновременно двух сил (нормальной и касательной) следует из уравнения текучести контактного материала [2, 3]:

$$p^2 + \alpha^2 s^2 = p^{*2}, \quad (3)$$

где $\alpha \sim 10$ – постоянная, зависящая от пластичности контактного материала; $p = P_{ki}/A_i$ – нормальное напряжение на пятне контакта; $s = T_{ki}/A_i$ – касательное напряжение на пятне контакта; p^* – предел текучести контактного материала.

При отсутствии T_{ki} , s равно нулю, а давление на пятне контакта приближается к пределу текучести $p = p^*$. Тогда:

$$A_0 = P_{Ki} / p^*. \quad (4)$$

Теоретически рост контактной поверхности должен был прекратиться, когда p станет меньше p^* . Однако, при приложении касательного усилия нарушается условие пластичности. Пластическая деформация контактного материала продолжает увеличиваться,

поскольку полное напряжение $\sqrt{p^2 + \alpha^2 s^2}$ все еще соответствует случаю пластического течения, которое возможно при росте площади единичного контакта A_i до размеров [2]:

$$A_i = A_0(1 + \alpha(T_k / P_k)^2)^{1/2}. \quad (5)$$

Теоретически, рост площади пятен контакта ограничен только пределом прочности на срез поверхностного слоя и для чистых поверхностей, значение A_i может в четыре и более раза превзойти A_0 , прежде чем произойдет их проскальзывание [3]. Экспериментальная проверка этих положений была проведена на установке по измерению переходного сопротивления, вид и схема которой показаны на рис. 2.

Поверхности исследуемых контактов, изготовленные из меди, латуни и серебра имели полусферические очертания с чистой обработкой поверхности $R_a 1,6$. Измерение переходного сопротивления осуществлялось с помощью амперметра и милливольтметра. Сила тока проходящего через контакты удерживалась на значении 1 А. Сила нормального замыкания назначалась в пределах от 2 кг до 10 кг для всех контактных материалов. Касательное усилие прикладывалось плавно с помощью микрометрического винта, ход которого не превышал 0,2 мм. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

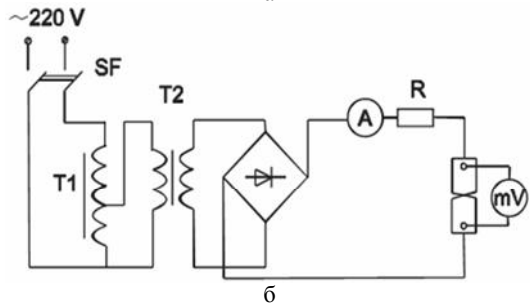
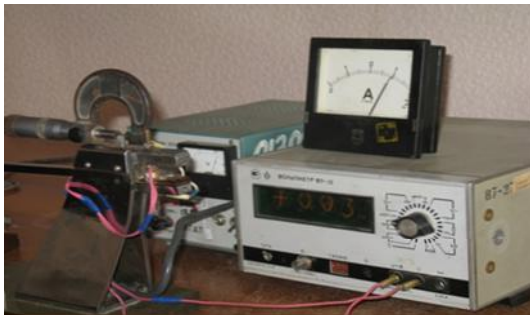


Рис. 2. Внешний вид (а) и электрическая схема установки (б)

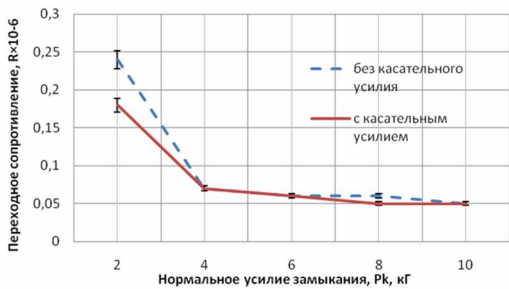
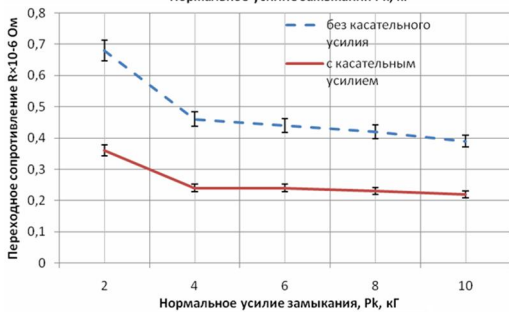
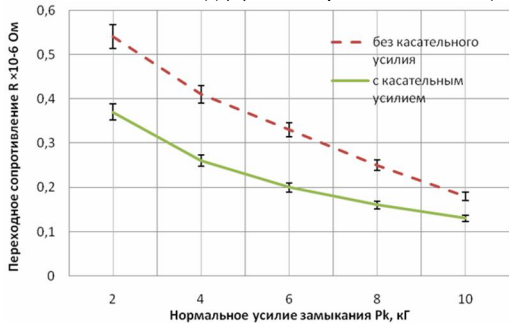


Рис. 3. Переходное сопротивление разрывных контактов из меди (а), латуни (б), серебра (в) в зависимости от характера нагрузки

Результаты эксперимента, полученные как средневзвешенное значение многократных измерений переходного сопротивления на пяти уровнях усилия сжатия для трех различных контактных материалов показали, что наличие тангенциального усилия приводит к снижению их переходного сопротивления (рис. 3). Особенно наглядно это проявляется при усилиях сжатия контактов до 4 кг, когда снижение пере-

ходного сопротивления составило от 41 до 46 % для медных и 44 до 66 % для латунных контактов. Для серебряных контактов этот эффект проявился только в диапазоне усилий сжатия 2-3 кг, что объясняется меньшим напряжением текучести серебра, а, следовательно, более быстрой деформации микронеровностей контактных поверхностей. Из диаграмм на рис. 3 видно, что приложение касательного усилия к контактам позволит получить такие же значения переходного сопротивления, но при более низких усилиях сжатия (от 1,5 до 3 раз меньше для медных контактов и более чем в 5 раз меньше для латунных).

Следует признать, что результаты эксперимента не носят обобщенный характер, поскольку существенно зависят от нестабильности формы и вида взаимодействия контактных поверхностей. Однако это не отвергает существование общей тенденции к снижению переходного сопротивления сжатых электрических контактов при приложении к ним касательного усилия.

ВЫВОДЫ

Стабилизация переходного сопротивления с ростом усилия замыкания зависит от механических свойств контактных материалов. Для более мягких материалов это происходит быстрее и при более низких значениях.

Приложение касательного усилия к замкнутым контактам позволяет существенно снизить их переходное сопротивление.

Практический результат, вытекающий из проведенных исследований, состоит в том, что достаточно низкого значения переходного сопротивления разрывных контактов можно достигать без наращивания жесткости пружин замыкания в приводах коммутационных устройств. Следовательно, это позволит снизить требования к прочности элементов механизмов коммутации и изготавливать их более легким и компактным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрический справочник в 3-х т. / [Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др.]. – М.: Энергоиздат, 1981 – Т.2: Электротехнические устройства, 1981. – 640 с.
2. Мышкин Н.К. Электрические контакты / Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. – 560 с.
3. Мур Д. Основы и применения триботехники / Д. Мур. – М.: Мир, 1978. – 488 с.

Bibliography (transliterated): 1. Elektricheskiy spravochnik v 3-h t. / [Pod obsch. red. V.G. Geracimova i dr.]. – M.: Energoizdat, 1981 – T.2: Elektrotehnicheskie ustroystva, 1981. – 640 s. 2. M'ishkin N.K. Elektricheskie kontakt'i / M'ishkin N.K., Konchits V.V., Braunovich M. – Dolgoprudn'i': Intellekt, 2008. – 560 s. 3. Mur D. Osnov'i i primeneniya tribotekhniki / D. Mur. – M.: Mir, 1978. – 488 s.

Поступила 28.10.2010

Волкова Ольга Григорівна

Запорізький національний технічний університет
кафедра теоретичної та загальної електротехніки
69063, Запоріжжя, вул. Жуковського 64
тел. (0612) 34-76-78, e-mail: volkova@zntu.edu.ua

Volkova O.G.

Influence of interrupting contacts closure force on transient resistance.

Results of research into influence of normal and tangential components of interrupting electric contact closure force on transient resistance are presented. It is shown that the tangential component results in increasing the actual contact area and decreasing the transient resistance.

Key words – interrupting contact, transient resistance, contact area, pressure, microgeometry.