

УДК 621.3

Д.В.Чураев (асп., каф. ИЭиТВН), И.М.Карпова, к.т.н., доц., В.В.Титков, д.т.н., проф.

К ОЦЕНКЕ УСЛОВИЙ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ВАРИСТОРОВ В НЕПОЛНОКОНТАКТНЫХ РЕЖИМАХ

Нелинейные резисторы широко применяемых в электроэнергетике ограничителей перенапряжений, представляют собой цилиндрические колонки, собираемые из оксидно-цинковых дисков – варисторов. В условиях эксплуатации, а также при технологических нарушениях в процессе изготовления возможно нарушение сплошности контакта между варисторами. В этом случае контакт может иметь место в отдельных пятнах относительно малого размера.

В задачу данной работы входит определение амплитуды прямоугольного импульса тока длительностью 2 мс, приводящего к механическому разрушению варистора в зависимости от радиуса контактного пятна. Импульс с указанными параметрами является одним из стандартных испытательных воздействий, при котором в варисторах выделяется наибольшее количество тепла. В условиях существования отдельных контактных пятен при протекании тока в отдельных областях варистора температура может быть весьма высокой, в то время как остальная часть варисторного диска остается холодной. Таким образом, возникают условия для возникновения температурных механических напряжений, интенсивность которых может оказаться достаточной для разрушения варисторной керамики.

Поставленная проблема сводится к расчету температурных механических напряжений в области контакта. В качестве объекта исследования был выбран варистор диаметром 46 мм и толщиной 10 мм. Учитывая, что отношение толщины диска к его радиусу мало по сравнению с единицей ($h/r = 0,43$), и торцевые поверхности свободны от нагрузок, можно предполагать [1], что данная задача соответствует плоскому напряженному состоянию тела, т.е. сводится к исследованию напряжений в тонком диске. В этом случае задача имеет аналитическое решение. Расчет производился по известным [1] формулам, выражающим зависимость механических напряжений от радиуса r :

$$\sigma_{rr} = \alpha \cdot E \cdot \left(\frac{1}{b^2} \cdot \int_0^b T \cdot r \cdot dr - \frac{1}{r^2} \cdot \int_0^r T \cdot r \cdot dr \right), \quad (1)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \alpha \cdot E \cdot \left(\frac{1}{b^2} \cdot \int_0^b T \cdot r \cdot dr - \frac{1}{r^2} \cdot \int_0^r T \cdot r \cdot dr - T \right), \quad (2)$$

где σ_{rr} – радиальные напряжения; α – коэффициент теплового расширения; E – модуль Юнга; b – радиус диска; T – температура; r – текущая координата; $\sigma_{\theta\theta}$ – азимутальные напряжения; σ_{zz} – осевые напряжения.

Для оценки интенсивности механических напряжений воспользуемся стандартными скалярными характеристиками напряженного состояния в точке:

$$I_1 = \sqrt{(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta})^2 + (\sigma_{rr} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{\theta\theta})^2}, \quad (3)$$

$$I_2 = \left(\frac{2}{3} \cdot \sigma_{rr} - \frac{1}{3} \cdot \sigma_{\theta\theta} \right)^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \sigma_{\theta\theta} - \frac{1}{3} \cdot \sigma_{rr} \right)^2, \quad (4)$$

где I_1 – интенсивность напряжений по Мизесу; I_2 – второй инвариант тензора напряжений.

Требуется найти величину импульса тока и соответствующий ему нагрев, при котором происходит разрушение варисторной керамики в области контакта (критический ток и критическую температуру).

Наличие разрушения варисторной керамики определялось по различным критериям: по интенсивности напряжений фон Мизеса $I_1 > \sigma_g$ и по второму инварианту тензора напряжений $I_2 > \sigma_g$, где σ_g – предел прочности варисторной керамики.

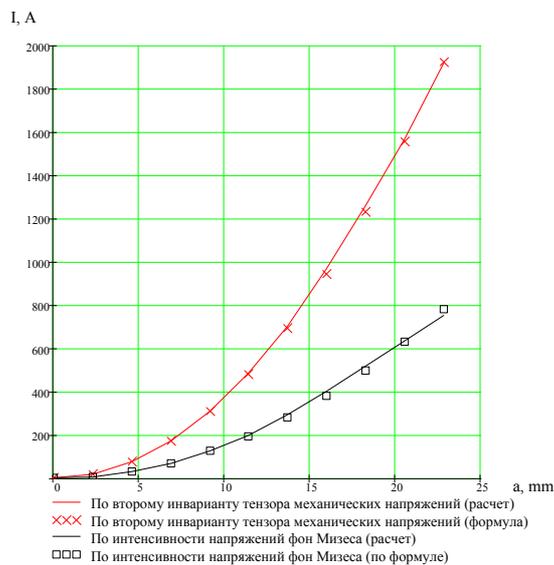


Рис. 1. Зависимость разрушающего тока длительностью 2 мс, определяемого по различным критериям, от радиуса контакта.

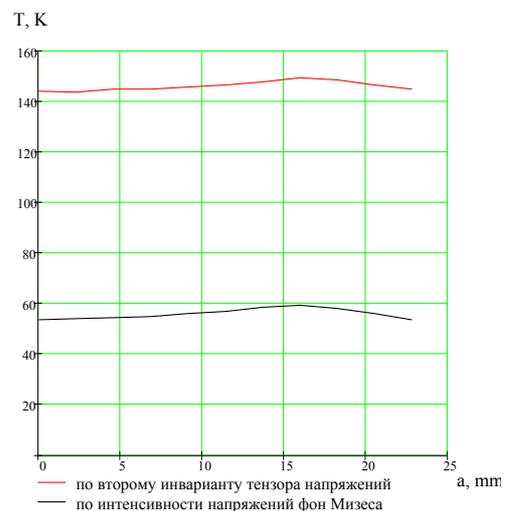


Рис. 2. Зависимость критической температуры, определяемой по различным критериям, от радиуса контакта.

Результаты расчетов представлены в виде графиков на рис. 1 и 2. Из рис. 1 видно, что критический ток, определяемый по интенсивности напряжений фон Мизеса, в 2,5 раза меньше тока, определяемого по второму инварианту, независимо от радиуса контакта. В качестве критериальной зависимости предпочтительнее выбрать первую кривую, в соответствии с которой значение критического тока в случае полного контакта ($a=23$ мм) близко к стандартному испытательному значению для варисторов 500...800 А. При этом зависимость величины разрушающего тока от радиуса контактного пятна можно аппроксимировать в виде $I = 1,5a^2$, где I — разрушающий ток, А; a — радиус контакта, мм.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений, М.: Мир, 1964, 517 с.