

УПРОЩЕННЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА
ПЛЁНОЧНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РЕЛЕ
НА ЗАДАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Т.В.Полина, Б.С.Потапов
В.А.Стерелюхин, А.И.Роголев

При проектировании ПЭР обычно задаются следующими параметрами: напряжениями срабатывания и отпускания ($U_{ср.}$, $U_{отп.}$), контактным давлением (F_k), коэффициентом передачи по напряжению ($K = \frac{U_k}{U_{ср.}}$, U_k - коммутируемое напряжение). Эти параметры определяются геометрическими размерами, механическими характеристиками материалов и технологическими особенностями производства.

Настоящая работа посвящена нахождению приближенных связей параметров реле с его геометрическими размерами. Строгая постановка этой задачи приводит к необходимости рассмотрения систем трансцендентных уравнений [1].

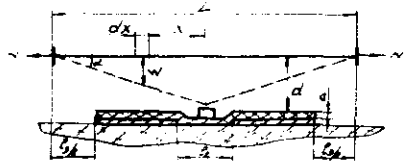


Рис. 1

классической конструкции (рис.1), где максимальный прогиб мембраны под действием напряжения изменяется пропорционально углу α .

С целью получения удобных формул для инженерных расчетов ПЭР, предлагается линеаризировать форму прогиба мембраны, что допустимо для тех конструкций ПЭР, где длина мембраны много больше её прогиба. В качестве примера приведем вывод расчетных формул для реле

1. Напряжение срабатывания реле определяется из условий:

$$F_3(\alpha_1) = F_y(\alpha_1) \quad (1)$$

$$\left(\frac{dF_3}{d\alpha} \right)_{\alpha_1} = \left(\frac{dF_y}{d\alpha} \right)_{\alpha_1}$$

где упругая сила $F_y = N\alpha$ (на участке от 0 до $L/2$), а электростатическая сила $F_3 = \int_{l_2}^{L-l_1} \frac{\epsilon_0 b U^2}{2(d-w+\frac{\Delta}{\sqrt{\epsilon}})^2} dx$ (b - ширина мембраны, ϵ - диэлектрическая проницаемость диэлектрика, а все остальные обозначения приведены на рис.1).

Подставляя выражения для F_3 и F_y в систему (1), получим:

$$U_{ср} = \sqrt{\frac{16N(d+\frac{\Delta}{\sqrt{\epsilon}})^3[3(L-l_2)-2l_1]}{27\epsilon_0 b(L-l_3-l_2)(L-l_2)^2}} \quad (2)$$



Рис. 2

2. При выводе формулы для определения напряжения отпускания принято: 1) отпускание происходит в момент касания мембраны и диэлектрику в одной точке, т.е. при $l_1 + l_2 = L$, 2) $l_k \approx l_3 \approx l_{3k} \ll L$ (рис. 2).

Из условий:

$$F_{y1} = F_{y1} \quad (\text{на участке } l_1/2), \quad (3)$$

$$F_{32} = F_{y2} \quad (\text{на участке } l_2/2).$$

где

$$F_{y1} = \frac{\epsilon \epsilon_0 b l_1 U^2}{4[\Delta^2 + \Delta(d-d_k)\sqrt{\epsilon}]}, \quad F_{32} = \frac{\epsilon \epsilon_0 b l_2 U^2}{4(\Delta^2 + \Delta d \sqrt{\epsilon})},$$

$$F_{y1} = N\alpha_1, \quad F_{y2} = N\alpha_2.$$

найдем:

$$U_{отп} = \frac{2}{L} \sqrt{\frac{2Nd\Delta(d\sqrt{\epsilon}+\Delta)}{\epsilon \epsilon_0 b}} \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\frac{(d-d_k)(d-d_k)\sqrt{\epsilon}+\Delta}{d(d\sqrt{\epsilon}+\Delta)}} \right\} \quad (4)$$

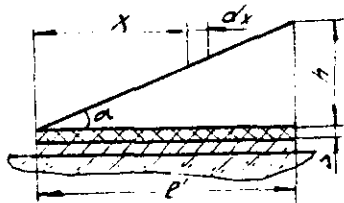


Рис. 3

находится из условия равновесия:

$$\frac{\epsilon \epsilon_0 b l' U_{cp}^2}{2 \Delta^2 + 2 \Delta (d - d_k) \sqrt{\epsilon}} = \frac{N(d - d_k)}{l'}$$

отсюда получим:

$$F_k = U_{cp} \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 N b (d - d_k)}{2 \Delta^2 + 2 \Delta (d - d_k) \sqrt{\epsilon}}} \quad (5)$$

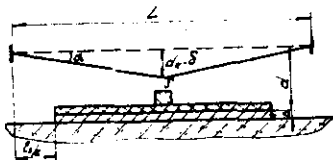


Рис. 4

со стороны управляющих электродов (при напряжении $U_{отп}$) и удерживающих сил со стороны контакта (электростатических и сил сварки), т.е.

$$F_y = F_{эу} + F_{yg.k} \quad (6)$$

где F_y - упругая сила мембраны, равная $\frac{2N(d_k - \delta)}{L}$ (рис. 4),
 $F_{эу}$ - электростатическое притяжение управляющих электродов при $U_{отп}$.

$$F_{эу} = \frac{\epsilon \epsilon_0 b (L - l_3) U_{отп}^2}{4 [d \sqrt{\epsilon} + \Delta - l_3 \sqrt{\epsilon} (d_k - \delta)] [(d - d_k) \sqrt{\epsilon} + \delta \sqrt{\epsilon} + \Delta]}$$

$F_{yg.k}$ - удерживающие силы со стороны контакта. Пренебрегая силами сварки, получим $F_{yg.k} = \frac{\epsilon_s S_k U_k^2}{2 \delta^2}$ (S_k - площадь контакта).

Величина δ характеризует то эффективное расстояние, при котором на размыкающихся контактах возникает полное коммутируемое напряжение.

Предельно допустимое напряжение на контакте определяется из уравнения (6) с учетом (4) при условиях: 1) $L \gg l_3 \approx l_{3k}$, 2) $d = d_k$ (высота контакта мала):

$$U_k = 2 \delta \sqrt{\frac{N}{\epsilon_s L S_k} \left(d_k - \delta - \frac{d \Delta}{\Delta + \delta \sqrt{\epsilon}} \right)} \quad (7)$$

Для предельного коэффициента передачи будем иметь:

$$K = \frac{1.5 \delta}{d \sqrt{\epsilon} + \Delta} \cdot \sqrt{\frac{S_y}{S_k} \cdot \frac{d_k - \delta - \frac{d \Delta}{\Delta + \delta \sqrt{\epsilon}}}{d \sqrt{\epsilon} + \Delta} \cdot \epsilon \sqrt{\epsilon}} \quad (8)$$

где S_y - площадь управляющих электродов.

Параметры ПЭР, определенные по предлагаемым формулам (2), (4), (5) совпадают с соответствующими значениями, полученными из решений в работах [1, 2], с точностью не хуже $\pm(10 + 20)\%$ для $0,01 < \frac{L - l_2 - l_3}{l_2} < 10$, если в формулу (2) ввести корректирующий множитель $\gamma = 1,225$.

Л и т е р а т у р а

1. ДЯТЛОВ В.Л., СОЛДАТЕНКОВ И.С. "Вычислительные системы". Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам. Вып. 5. Новосибирск, 1968, стр.159.

2. ПОЛИНА Т.В., ПОТАНОВ Б.С. Статические характеристики ПЭР с выступающим контактом. Данный сборник.