

## МОДЕЛИ ПРОХОДНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОВОДЯЩИХ СРЕДАХ

Доц. Джебжора А. А.; доц Котов А. А.;  
доц Кондрацкий Э. В. (ВГТУ)

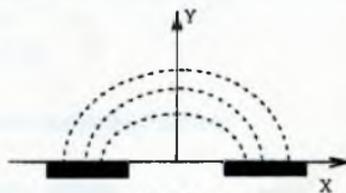
При расчете электрических и магнитных полей в средах с ортогональной анизотропией [1] всегда может быть выбрана такая ортогональная система координат, в которой электрические характеристики (диэлектрическая проницаемость, проводимость) выражаются тензором диагонального вида:

$$\varepsilon_{ik} = \begin{vmatrix} \varepsilon_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{vmatrix} \quad (1)$$

Примерами таких сред являются материалы текстильной промышленности, стеклопластики, бумага.

Учитывая, что практический интерес представляет расчет полей в неоднородных средах, когда анизотропный материал находится в изотропном пространстве, то одним из наиболее простых методов расчета является метод изотропизирующего преобразования координат [1]. Он заключается в таком преобразовании координат в анизотропной области, при котором уравнение Лапласа сводится к уравнению в изотропной среде, при этом на границе раздела изотропной и анизотропной сред новые координаты должны быть сопряжены со старыми.

Применительно к случаю заполнения накладного измерительного конденсатора (НИК) анизотропной средой, когда силовые линии электрического поля ленточных электродов замыкаются в плоскости анизотропии (рис. 1), емкость равна среднегеометрическому значению диэлектрических проницаемостей в направлениях осей анизотропии, умноженному на геометрический коэффициент [2]:



$$C = \varepsilon_0 \sqrt{\varepsilon_x \varepsilon_y} A \quad (2)$$

Это выражение легло в основу методик неразрушающего контроля анизотропии физических свойств ортотропных материалов. Однако их применение для неразрушающего контроля полотнообразных материалов ограничено. Это связано, в первую очередь, с задачей оптимизации конструкций преобразователей. Размеры электродов преобразователей должны быть выбраны таким образом, чтобы проникновение электрического поля преобразователя было меньше минимальной толщины материала. Тогда изменение толщины материала не скажется на результатах измерений, и будет справедливо выражение (1). Однако большая часть тонких полимерных материалов (волокна, ткани, пленки, покрытия) имеют неквазигомогенную структуру. Неоднородности структуры могут быть сравнимы с толщиной материалов. В этом случае необходимо изготовление электродов в виде узких ленточных полос, что приведет к соразмерности неоднородностей и размеров НИК, а, следовательно, к погрешностям измерений.

Таким образом возможности применения НИК в случае одностороннего доступа к контролируемой поверхности ограничены свойствами среды и размерами контролируемого материала.

Наиболее перспективны в этом случае проходные преобразователи. Контролируемый материал в этом случае располагается между электродами преобразователя.

К проходным преобразователям, предназначенным для контроля полотнообразных материалов, относится конденсатор, содержащий ленточные НИК, снабженный дополнительным охранным электродом (рис. 2). Как показали расчеты [3], рабочая емкость такого преобразователя определяется выражением:

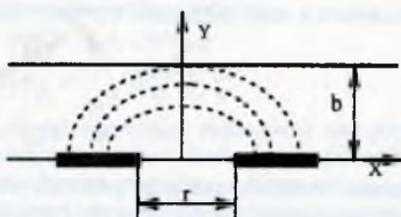


Рис. 2.

$$C_p = \frac{2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0}{\pi} \cdot e^{-\frac{\pi r}{2b}}, \quad (3)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф / м}$ .

Если оси анизотропии ортотропного материала X, Y, Z совпадают с осями координат, то согласно изотропизирующего преобразования координат [1] выражение (3) запишется в виде:

$$C_p = \frac{2 \cdot \sqrt{\epsilon_x \epsilon_y} \cdot \epsilon_0}{\pi} \cdot e^{-\frac{\pi \sqrt{\epsilon_y} r}{2 \sqrt{\epsilon_x} b}}. \quad (4)$$

Определяя отношение квадратов емкостей, измеренных в направлениях осей анизотропии, можно проводить сравнительную оценку анизотропии физических свойств полотнообразных материалов. Однако поле такого преобразователя неоднородно по глубине, хотя и в меньшей степени, чем поле НИК.

Для контроля полотнообразных материалов более приемлемым можно считать проходные зеркально-симметричные преобразователи (рис. 3). По сравнению с выше описанными преобразователями они создают более однородные поля, и обладают большими функциональными возможностями.

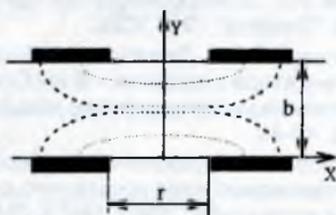


Рис. 3.

Расчеты, проведенные методом конформных отображений, дали следующее выражение рабочей емкости одной секции [4]:

$$C_p = \epsilon_0 \epsilon \pi \frac{1}{\frac{r\pi}{b} + \ln 4}. \quad (5)$$

В случае контроля анизотропных материалов, когда оси анизотропии совпадают с осями симметрии, рабочая емкость определяется выражением:

$$C_p = \epsilon_0 \epsilon_x \pi \frac{1}{\frac{r\pi}{b} + \sqrt{\frac{\epsilon_x}{\epsilon_y}} \ln 4}. \quad (6)$$

Большинство материалов текстильной промышленности по своим электрическим свойствам можно отнести к полупроводящим средам, проводимость которых увеличивается по мере роста влагосодержания. В силу этого, их электрические свойства описываются комплексными составляющими тензоров:

$$\bar{\varepsilon} = \begin{vmatrix} \varepsilon_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{vmatrix} - j \begin{vmatrix} \varepsilon'_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon'_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon'_{zz} \end{vmatrix} \quad (7)$$

Выражения, полученные для рабочих емкостей проходных преобразователей, позволяют рассчитать активную и реактивную составляющие рабочего сопротивления между электродами преобразователей. Согласно выражения  $R = \frac{1}{\omega C}$

для НИК с дополнительным экраном:

$$Z = R - jX = - \frac{j\pi}{2\omega\varepsilon_0 \sqrt{(\varepsilon_{xx} - j\varepsilon'_{xx})} \sqrt{(\varepsilon_{yy} - j\varepsilon'_{yy})}} \cdot \exp\left(\frac{\pi r}{2b} \sqrt{\frac{\varepsilon_{yy} - j\varepsilon'_{yy}}{\varepsilon_{xx} - j\varepsilon'_{xx}}}\right) \quad (8)$$

для зеркально-симметричного преобразователя

$$Z = R - jX = - \frac{j}{\omega\pi\varepsilon_0 \sqrt{(\varepsilon_{xx} - j\varepsilon'_{xx})} \sqrt{(\varepsilon_{yy} - j\varepsilon'_{yy})}} \left( \sqrt{\frac{\varepsilon_{xx} - j\varepsilon'_{xx}}{\varepsilon_{yy} - j\varepsilon'_{yy}}} \cdot \ln 4 + \frac{\pi r}{b} \right). \quad (9)$$

Таким образом полученные выражения позволяют рассчитать активную и реактивную составляющие сопротивления преобразователей при контроле полупроводящих сред, к которым относится большинство материалов текстильной промышленности.

### Литература:

1. Нетушил А.В. Электрические поля в анизотропных средах. - Электричество, 1950, № 3, с.9-10.
2. Матис И.Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля. Рига, "Зинатне", 1982, 302с.
3. Жизневский В.А, Джежора А.А, Андрушкевич И.Е. Расчет емкости трехзажимного конденсатора с экраном. - В кн. Совершенствование технологических процессов и организация производства машиностроения. Минск, изд-во "Университетское", 1993, 43-48.
4. Джежора А.А, Шушкевич В.Л, Щербаков В.В, Кондрацкий Э.В. Анализ электрического поля проходного датчика. - Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности, 1989, №4, с.85-88.