

# РАСЧЕТ ВАКУУМНОГО КОНДЕНСАТОРА С ЭЛЕКТРОДАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ ИЗ МАТЕРИАЛА С РАЗЛИЧНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РАСШИРЕНИЯ<sup>\*</sup>

А. А. РЫЖОВ

Пензенский государственный университет, г. Пенза

## Введение

В настоящее время развитие новых областей техники ставит перед Российским конденсаторостроением задачи разработки и освоения новых типов конденсаторов.

Области техники (радиолокационная техника, лазерная техника, атомная энергетика, космическая техника и т.д.) предъявляют повышенные требования к качеству и надежности конденсаторов. Температурная стабильность емкости является одной из важнейших характеристик конденсатора, влияющей на качество работы радиоэлектронной аппаратуры, в которой он используется.

Обзор работ, посвященных снижению температурной стабильности емкости вакуумных конденсаторов, сводится к применению различных технических решений вне вакуумного корпуса устройства. Недостаток таких конструкций состоит в сложности изготовления устройства и его эксплуатации, а также невозможности реализовать ее в вакуумных конденсаторах постоянной емкости.

Одним из решений проблемы уменьшения температурной стабильности емкости является использование электродов из различных материалов. Прежде, чем перейти к рассмотрению вопроса термостабилизации конденсатора, целесообразно кратко остановиться на особенностях работы вакуумного конденсатора с коаксиальными емкостными электродами, изготовленными из одного материала.

В процессе работы вакуумного конденсатора активная мощность выделяется в виде тепла (в металлической арматуре, изоляционной оболочке и потери в междуэлектродном вакуумном зазоре). Изменение емкости конденсаторов с емкостными коаксиальными электродами, изготовленными из одного материала, при нагреве вызывается изменением величины

---

\* Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Исследование и разработка высоковольтных высокочастотных вакуумных конденсаторов постоянной и переменной емкости нового поколения с высокой температурной стабильностью» ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009-2013 гг.)», Гос контракт №П11012 от 27 мая 2010 г

перекрытия емкостных электродов за счет температурного расширения элементов арматуры в продольном направлении (изменением емкости диэлектрической оболочки за счет изменения диэлектрической постоянной материала можно пренебречь ввиду ее малости).

В качестве материала емкостных электродов и элементов арматуры вакуумных конденсаторов использовались никель и алюминий. В настоящее время используется бескислородная медь, имеющая температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), равный  $(16,5 - 18,6) \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>, керамический материал изоляционной оболочки вакуумных конденсаторов имеет ТКЛР в пределах  $(5-10) \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>. Поэтому при приблизительно равных длинах емкостных электродов и керамической оболочки температурный коэффициент емкости (ТКЕ) конденсаторов характеризующей изменение емкости при изменении температуры равно

$$ТКЕ = \alpha_c = \frac{1}{C_0} \frac{\Delta C}{\Delta T}, \quad (1)$$

где  $C_0$  - полная емкость конденсатора при начальной температуре, Ф;

$\Delta C$  - изменение емкости конденсатора, вызванное изменением температуры на  $\Delta T$  °С, является положительным.

Для конденсаторов постоянной емкости он составляет  $(40-80) \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>, для переменных при максимальной емкости  $(80-120) \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>. В вакуумных конденсаторах используется до нескольких десятков цилиндрических емкостных электродов.

### **Методика расчета изменения емкости 2-х коаксиальных емкостных электродов выполненных из различных материалов**

Для компенсации изменения (увеличения) емкости при нагреве, связанному продольному расширению элементов арматуры вакуумных конденсаторов предлагается механизм компенсации этого увеличения за счет использования внутреннего электрода емкостного блока, изготовленного из материала с коэффициентом температурного расширения меньшим, чем соответствующий коэффициент смежного емкостного электрода. В такой комбинации емкость внутреннего и смежного электродов при нагреве будет уменьшаться за счет увеличения радиального расстояния между ними. Увеличение емкости внутренних электродов будет компенсировать определенным образом увеличение емкости остальных электродов в емкостном блоке конденсатора [1].

Рассмотрим методику для расчета длины внутреннего электрода емкостного блока с целью компенсации увеличения емкости его при нагреве.

Изменение емкости  $\Delta C$  вакуумного конденсатора с известным ТКЕ ( $\alpha$ ) при перегреве его на температуру  $\Delta T$  определится из формулы (2) и будет равняться [2]:

$$\Delta C = \alpha \cdot C \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где  $C$  - емкость конденсатора, Ф.

Для вновь проектируемого конденсатора это изменение может быть рассчитано по формуле 1.

Представим схему расположения емкостных электродов и изменения их размеров при нагревании (рис. 1).

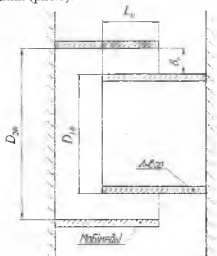


Рис 1 Внутренний и смежный цилиндрические коаксиальные электроды при температуре  $T_n$

Изменение размеров за счет изменения длины изоляционной оболочки не учитываем.

Введем обозначения:

$D_{10}$  - наружный диаметр внутреннего электрода при начальной температуре  $T_0$ ;

$D_{1T}$  - наружный диаметр внутреннего электрода при начальной температуре  $T$ ;

$D_{20}$  - внутренний диаметр смежного электрода при начальной температуре  $T_0$ ;

$D_{2T}$  - внутренний диаметр смежного электрода при начальной температуре  $T$  ;

$l_0$  - длина перекрытия при начальной температуре  $T_0$  ;

$l_T$  - длина перекрытия при начальной температуре  $T$  ;

$\beta_1$  и  $\beta_2$  - температурные коэффициенты линейного расширения материала внутреннего и смежного электродов, соответственно.

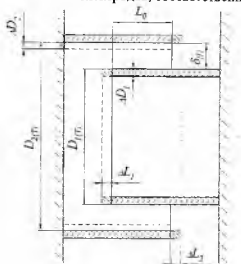


Рис 2. Внутренний и смежный цилиндрические коаксиальные электроды при температуре  $T$

Емкость между коаксиальными электродами при начальной температуре будет [3]

$$C = 0,241 \frac{l_0}{\lg \frac{D_{20}}{D_{10}}} \cdot 10^{-12} \quad (3)$$

При нагреве системы до температуры  $T$  изменится положение всех ее электродов. Увеличатся диаметры электродов до значений  $D_{1T}$  и  $D_{2T}$ , увеличится перекрытие  $l_0$  до значения  $l_T$  (рис. 2):

$$\Delta T = T - T_0 ;$$

$$D_{1T} = D_{10} (1 + \beta_1 \Delta T) ; \quad (4)$$

$$D_{2T} = D_{\gamma_0} (1 + \beta_2 \Delta T).$$

Так как длина закраины  $\Delta l$  значительно меньше длины перекрытия (в 10-15 раз) пренебрежем влиянием ее изменения на изменение перекрытия и будем считать, что

$$\Delta l = l_0 + l_0 \beta_1 \Delta T + l_0 \beta_2 \Delta T = l_0 (1 + \Delta T (\beta_1 + \beta_2)). \quad (5)$$

Емкость системы при нагреве до температуры  $T$  будет равна

$$C_T = 0,241 \frac{l_0 (1 + \Delta T (\beta_1 + \beta_2))}{\lg \frac{D_{20} (1 + \beta_2 \Delta T)}{D_{10} (1 + \beta_1 \Delta T)}} \cdot 10^{-12} \quad (6)$$

Изменение емкостей  $\Delta C_H = C_T - C_0$  в результате нагрева  $\Delta C_H$  составит:

$$\begin{aligned} \Delta C_H &= (0,241 \frac{l_0 (1 + \Delta T (\beta_1 + \beta_2))}{\lg \frac{D_{20} (1 + \beta_2 \Delta T)}{D_{10} (1 + \beta_1 \Delta T)}} - 0,241 \frac{l_0}{\lg \frac{D_{20}}{D_{10}}}) \cdot 10^{-12} = \\ &= 0,241 l_0 (\frac{(1 + \Delta T (\beta_1 + \beta_2))}{\lg \frac{D_{20} (1 + \beta_2 \Delta T)}{D_{10} (1 + \beta_1 \Delta T)}} - \frac{1}{\lg \frac{D_{20}}{D_{10}}}) \cdot 10^{-12} \end{aligned} \quad (7)$$

Отсюда следует, что для получения изменения емкости  $\Delta C_H$  при выбранной геометрии необходимо установить перекрытие  $l_0$  между внутренним и смежным электродами равным

$$l_0 = \frac{\Delta C_H}{0,241} \cdot \frac{1}{(\frac{(1 + \Delta T (\beta_1 + \beta_2))}{\lg \frac{D_{20} (1 + \beta_2 \Delta T)}{D_{10} (1 + \beta_1 \Delta T)}} - \frac{1}{\lg \frac{D_{20}}{D_{10}}})} \quad (8)$$

Полученные формулы и методика определения изменения емкости и начального перекрытия электродов, дают возможность сделать конденсатор с ТКЕ близким к нулю. Если модернизируется определенный конденсатор с емкостью  $C$  и с уже установленным ТКЕ, то пользуясь формулой (7) определяем изменение емкости в результате нагрева  $\Delta C_H$  и, подставив это значение в формулу (8), получим величину  $l_0$ , при которой изменение (увеличение) емкости всего емкостного блока (без 2-х внутренних

электродов) будет скомпенсировано изменением (уменьшением) емкости внутреннего смежного емкостного электрода.

### **Заключение**

Приведенная методика расчета изменения емкости даст возможность определить температурный коэффициент емкости (ТКЕ) вакуумных конденсаторов с электродами, выполненными из материалов с различными коэффициента температурного расширения. Вместе с тем, анализ полученных выражений для ТКЕ по разработанной методике позволяет произвести обоснованный подбор конструкционных материалов арматуры и осуществить некоторые конструктивные усовершенствования узлов вакуумных конденсаторов, вакуумных делителей напряжения, с целью минимизации температурной нестабильности.

### **Список использованной литературы**

1. Юрков Н.К., Смирнов Э.Н., Буц В.П. Методика расчета коэффициента температурного изменения и коэффициента деления высоковольтного вакуумного делителя // Научно-технический журнал Извещения Института инженерной физики. 2010 №3. С.48 – 53.
2. Буц В.П., Смирнов Э.Н., Рывков А.А., Юрков Н.К. Электромагнитное экранирование элементов вакуумного делителя высоких напряжений // Измерительная техника, 2011. №2. С. 61 – 64.
3. Исосель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости // Л: Энергияизд. 1981. – 288 с.

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОПЫТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

А.В. Затылкин, Д.А. Голушко, А.В. Лысенко

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза

### **Введение.**

В настоящее время при разработке, испытаниях и эксплуатации радиоэлектронных средств (РЭС) огромную роль играют такие экономические факторы как высокие затраты материальных, человеческих и денежных средств [1,2]. Поэтому, разработчикам все больше внимания приходится уделять разработке именно математических моделей РЭС.

Тем не менее, использование только математических моделей существенно ограничивает область исследований РЭС по следующим причинам: