

ДОБРОТНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЭКРАНИРОВАННОГО СОСТАВНОГО МЕТАЛЛО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА

Савин К. Г.; Прокопенко Ю. В., к.т.н. доцент;

Поплавко Ю. М., д.ф.-м.н. профессор

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт», Киев, Украина

Быстрое развитие беспроводных технологий за последние годы стало причиной повышения интереса к перестраиваемым селективным устройствам. Традиционным решением для высокочастотных устройств являются конструкции на основе диэлектрических резонаторов (ДР). Цилиндрические экранированные составные металло-диэлектрические резонаторы (СМДР) обеспечивают более широкий диапазон перестройки по сравнению с перестраиваемыми ДР. Кроме того, СМДР позволяют существенно уменьшить размеры селективных устройств [1].

Эта работа посвящена исследованию добротности цилиндрического экранированного СМДР, в том числе диэлектрическим потерям и потерям в металле.

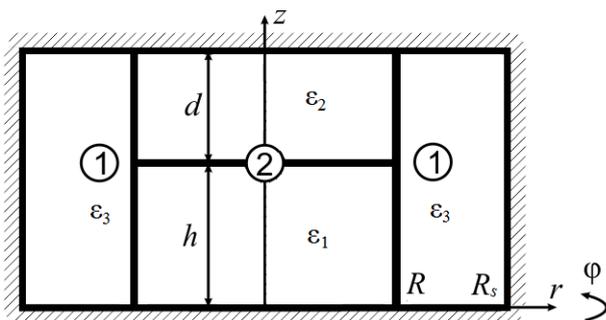


Рис. 1. Конструкция цилиндрического экранированного СМДР.

Общий вид СМДР приведен на рис.1. СМДР включает в себя две соосные цилиндрические области радиуса R , высотами h и d , с относительными проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 , помещенные между двумя металлическими пластинами. Пространство вокруг цилиндрических областей заполнено диэлектриком с относительной проницаемостью ϵ_3 , который в свою очередь окружен металлической

стенкой радиуса R_s .

Собственная добротность Q_0 может быть представлена в виде:

$$\frac{1}{Q_0} = \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_m},$$

где Q_d — добротность, обусловленная диэлектрическими потерями, Q_m — добротность, обусловленная потерями в металле.

Q_d и Q_m могут быть определены следующим образом:

$$Q_d = \omega_0 \frac{U_{d1} + U_{d2} + U_{d3}}{P_{d1} + P_{d2} + P_{d3}},$$

$$Q_m = \omega_0 \frac{U_{d1} + U_{d2} + U_{d3}}{P_m},$$

где U_{d1} , U_{d2} , U_{d3} — энергии, запасенные в диэлектрических средах с относительными проницаемостями ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_3 соответственно, P_{d1} , P_{d2} , P_{d3} — мощности тепловых потерь в диэлектрических средах с относительными проницаемостями ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_3 соответственно, P_m — мощность потерь в металле, ω_0 — угловая резонансная частота.

U_{d1} , U_{d2} , U_{d3} могут быть получены с помощью выражений:

$$U_{d1} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0}{2} \int_{diel1} |\vec{E}_2(\vec{r})|^2 dV,$$

$$U_{d2} = \frac{\epsilon_2 \epsilon_0}{2} \int_{diel2} |\vec{E}_2(\vec{r})|^2 dV,$$

$$U_{d3} = \frac{\epsilon_3 \epsilon_0}{2} \int_{diel3} |\vec{E}_1(\vec{r})|^2 dV,$$

где ϵ_0 — абсолютная диэлектрическая проницаемость, $\vec{E}_1(\vec{r})$ и $\vec{E}_2(\vec{r})$ — электрические поля в областях 1 и 2 соответственно.

P_{d1} , P_{d2} , P_{d3} могут быть описаны следующим образом:

$$P_{di} = \omega_0 \operatorname{tg} \delta_i U_{di}, i = \overline{1,3},$$

где $\operatorname{tg} \delta_1$, $\operatorname{tg} \delta_2$, $\operatorname{tg} \delta_3$ — тангенсы углов диэлектрических потерь в средах с относительными проницаемостями ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_3 соответственно.

P_m может быть описана выражением

$$P_m = R_s \int_{walls} |\vec{H}(\vec{r}) \times \vec{i}_n|^2 dS,$$

где $\vec{H}(\vec{r})$ — магнитное поле, \vec{i}_n — орт нормали к металлической стенке, R_s — поверхностное сопротивление, которое можно найти по формуле:

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu \mu_0}{\sigma}},$$

где f — частота, μ — относительная магнитная проницаемость металла (в дальнейших расчетах принято $\mu = 1$), μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость, σ — удельная проводимость металла.

В случае перестраиваемого цилиндрического экранированного СМДР в качестве диэлектриков с проницаемостями ϵ_2 и ϵ_3 выступает воздух. Поэтому, $\epsilon_2 = \epsilon_3 = 1$, $\operatorname{tg} \delta_2 = \operatorname{tg} \delta_3 = 0$. При этом перестройка осуществляется изменением толщины воздушного зазора d .

На рис. 2 приведены рассчитанные методом конечного интегрирования зависимости от нормированной толщины воздушного зазора нормиро-

ванних добротностей: $Q_d \text{tg} \delta$, обумовленої діелектричними втратами, (рис. 2, а) і $Q_m / \sqrt{\sigma}$, обумовленої втратами в металі, (рис. 2, б).

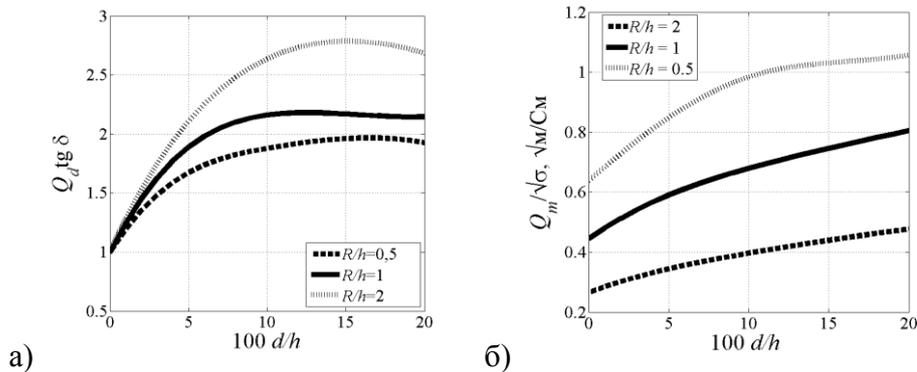


Рис. 2. Зависимости от нормированной толщины воздушного зазора для различных соотношений R/h : а) нормированной добротности, обусловленной диэлектрическими потерями, при $\epsilon_1 = 30$, $R_s = 1,5R$, $\text{tg} \delta_1 = 10^{-3}$; б) нормированной добротности, обусловленной потерями в металле, при $\epsilon_1 = 30$, $R_s = 1,5R$, $\sigma = 1,59 \cdot 10^7$ См/м.

Хорошо видно, что перестраиваемый СМДР не просто сохраняет, но повышает свою добротность при перестройке. Наличие максимума Q_d может быть использовано для высокодобротных перестраиваемых СМДР.

Литература

1. Savin K. Mode Matching Technique Solution for Shielded Tunable Cylindrical Metal-Dielectric Resonator / K. Savin, Yu. Prokopenko and G. A. E. Vandenbosch // 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology” (ELNANO-2013), Kyiv, Ukraine, 16–19 April 2013. — P. 118—122.

Анотація

Досліджено добротність складеного метало-діелектричного резонатора, зокрема діелектричних втрат і втрат у металі. Показано зростання добротності при збільшенні товщини повітряної щілини, що може бути використано для високодобротних резонаторів з постійною товщиною повітряної щілини або переналаштовуваних резонаторів, що не лише зберігають, але покращують добротність при переналаштуванні.

Ключові слова: метало-діелектричний резонатор, добротність, повітряна щілина.

Аннотация

Исследована добротность составного метало-диэлектрического резонатора, в том числе диэлектрические потери и потери в металле. Показан рост добротности при увеличении толщины воздушного зазора, что может быть использовано для высокодобротных резонаторов с постоянной толщиной воздушного зазора или перестраиваемых резонаторов, не только сохраняющих, но повышающих добротность при перестройке.

Ключевые слова: метало-диэлектрический резонатор, добротность, воздушный зазор.

Abstract

Quality factor of complex metal-dielectric resonator is discussed. It was shown that both metal and dielectric losses decrease in case the air gap width increases. It can be used for tunable resonators which not only maintain but improve their Q factor a resonant frequency tuned. High- Q resonators with a constant air gap can be applications as well.

Keywords: metal-dielectric resonator, Q factor, air gap.