

Инверсный магнитоэлектрический эффект в феррит-пьезоэлектрическом диске

Т. А. Галкина, Д. А. Филиппов

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,
Великий Новгород, Россия
тел. (8162) 62-77-27, эл. почта: taisiya_galkina@mail.ru

В данной работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование инверсного магнитоэлектрического (МЭ) эффекта для дискообразных образцов из объемных композиционных материалов состава феррит - никелевая шпиль - цирконат - титаната свинца. Представлена модель расчета коэффициента инверсного магнитоэлектрического преобразования для образцов в форме диска на основе метода эффективных параметров.

В качестве модели рассматривался образец из композиционного феррит-пьезоэлектрического материала в форме тонкого диска радиуса R и толщиной d , на нижней и верхней поверхности которого нанесены тонкие металлические контакты, а на боковые поверхности намотана катушка индуктивности, содержащая N витков. Были рассмотрены продольный (постоянное (подмагничивающее) магнитное поле направлено параллельно поляризации образца) и поперечный (постоянное магнитное поле направлено в плоскости образца, перпендикулярно направлению поляризации) эффекты.

В случае продольного эффекта коэффициент инверсного МЭ преобразования определяется как [1], где среднее значение индукции магнитного поля равно

$$\langle B_3 \rangle = \frac{1}{\pi R^2} \cdot \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R B_3 r dr .$$

Вычисляя интеграл, для коэффициента инверсного МЭ преобразования получим выражение: $\alpha_{B,L} = \frac{2q_{31}d_{31}}{s_{11}(1-\nu)} \cdot \left[\frac{(1+\nu)J_1(\kappa)}{\Delta_r} - 1 \right]$, где введено обозначение $\Delta_r = \kappa J_0(\kappa) - (1-\nu)J_1(\kappa)$. Для коэффициента инверсного МЭ преобразования при поперечном эффекте получим выражение в следующем виде:

$$\alpha_{B,T} = \frac{(q_{11} + q_{12})d_{31}}{s_{11}(1 - \nu)} \cdot \left[\frac{(1 + \nu)J_1(\kappa)}{\Delta_r} - 1 \right].$$

Как следует из полученных выражений, коэффициент инверсного МЭ преобразования прямо пропорционален произведению значений пьезоэлектрического d_{31} и пьезомагнитного q_{i1} модулей и обратно пропорциональна значению модуля податливости s_{11} . Однако при поперечном эффекте величина коэффициента $\alpha_{B,T}$ пропорциональна произведению $(q_{11} + q_{12})d_{31}$, а при продольном значении $\alpha_{B,L}$ пропорционально произведению $q_{31}d_{31}$. Поскольку $(q_{11} + q_{12}) > q_{31}$, то и величина поперечного эффекта больше, чем продольного.

Частотная зависимость коэффициента инверсного МЭ преобразования имеет резонансный характер. В области низких частот, когда параметр $\kappa \ll 1$ величина инверсного коэффициента МЭ преобразования практически не зависит от частоты, однако на частоте, соответствующей условию $\Delta_r = 0$, наблюдается пиковое увеличение коэффициента. Корни этого уравнения получили название резонансных частот f_r .

В результате проведенных экспериментальных исследований показано хорошее соответствие экспериментальных результатов с проведенными теоретическими исследованиями. Частотная зависимость коэффициента имеет резонансный характер. Для образцов из феррит-никелевой шпинели – ЦТС радиусом около $R \approx 5\text{cm}$ значение нижней резонансной частоты составляет примерно $f_r \approx 300\text{kHz}$.

Литература

1. Д. А. Филиппов, Т. А. Галкина, Г. Сринивасан. Вестник НовГУ. 60, (2010).