

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОСОЛЕНОЇДА

Богдан Каркульовський

НУ “Львівська політехніка”, bohdan.v.karkulovskiy@lpnu.ua

Важливими складовими сучасних МЕМС є мікротвори, які визначають їхні рушійні параметри. Зусилля, які створюються мікротворами, залежать в першу чергу від їхньої структури, яка визначається наявністю низки складових. Визначальною частиною мікротворів є соленоїди, які дають можливість зосередити порцію електромагнітної енергії і передати її для виконання рушійних функцій. Як правило, це є соленоїди тороїдального типу. В цій роботі ми розглянемо моделювання властивостей мікросолоноїда в плані його енергетичних характеристик, які залежать від компонент електромагнітного поля, що збуджує соленоїд.

У випадку ізотропного однорідного середовища величина енергії, яка формується мікросолоноїдом, визначається формулою

$$W_e = \frac{1}{2} \int_V \varepsilon |\vec{E}|^2 dV = \frac{1}{2} \int_V \frac{1}{\varepsilon} |\vec{D}|^2 dV, \quad (1)$$

де \vec{E} – електрична компонента вектора електромагнітного поля, ε – магнітна проникність матеріалу соленоїда, \vec{D} – вектор магнітної індукції, V – об’єм соленоїда. Таким чином, для визначення величини енергії необхідно знати електричні компоненти електромагнітного поля.

У випадку тороїдального соленоїда ненульові компоненти вектора \vec{E} мають вигляд [1]:

$$E_\theta = \frac{\Lambda k}{2r^2} \cos \Omega (J_1(kd \sin \theta) - kd \sin \theta J_2(kd \sin \theta)) - \frac{\Lambda k}{4r^3} \sin \Omega [d \sin \theta (J_0(kd \sin \theta) - 3J_2(kd \sin \theta) - 2kr^2 J_1(kd \sin \theta)), \quad (2)$$

$$E_r = -\frac{\Lambda kd \cos \theta}{2r^3} (\sin \Omega - kr \cos \Omega) J_0(kd \sin \theta) + \frac{\Lambda kd^2 \sin \theta \cos \theta}{2r^4} (3 \cos \Omega + 2kr \sin \Omega) J_1(kd \sin \theta), \quad (3)$$

Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2024», 27–29 травня 2024 р., Львів

де $\Lambda = \pi R^2 g$, $g = 2NI/c$, $\Omega = kr - \omega t$. Параметр R визначає радіус тора, N – кількість витків, I – струм в окремому витку, c – швидкість світла, ω – кутова частота ($\omega = 2\pi f$), r – відстань до точки спостереження, t – час.

Враховуючи формули (1) – (3), формула для обчислення енергії набуває вигляду

$$W_e = \frac{1}{2} \int_V \varepsilon (E_\theta^2 + E_r^2) dV, \quad (4)$$

При обчисленнях використовувалися такі параметри соленоїда: радіус тора дорівнює 0,10м, внутрішній радіус тора дорівнює 0,10м, $N = 10, 20, 30$, значення струму I в котушках соленоїда також фіксоване, але його можна вибрати також як параметр оптимізації; решта геометричних і фізичних параметрів змінюються для визначення оптимальних значень випромінюваної енергії. Розрахунки проводяться в районі частоти 6 ГГц. У сферичних координатах елемент об'єму $dV = r^2 \sin \theta dr d\theta d\varphi$. Інтегрування у формулі (4) здійснюється чисельно. На рис. 1 наведено залежність енергії W_e від N в діапазоні частот f .

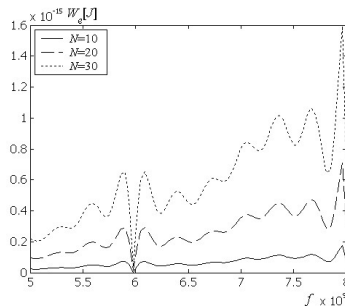


Рис. 1. Характеристика W_e в діапазоні частот 5-8 ГГц.

1. *Afanasiev O.N, and Dubovik V.M.* Electromagnetic properties of toroidal solenoid. *J. Phys. A: Math. Gen.* // 1992. – **25**. P. 4869-4886. <https://doi.org/10.1088/0305-4470/25/18/020>.

MODELING THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOLENOID

The numerical data related to the calculation of the energy of the circular solenoid demonstrated the possibility to easy its calculation having the values of EM field components. The results can be extended on the case of the electrodynamical fields that foresees the supplementing formula (4) by the usual additional term. The obtained results are suitable for modeling the run devices of MEMS, providing its necessary performances.

<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2024>