

УДК 621.372

А.І. Лучанінов, В.М. Шокало, В.В. Журбенко, М.А. Омаров
Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра основ радіотехніки

АНАЛІЗ НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ У НАДПРОВІДНИКОВИХ МІКРОСМУЖКОВИХ РЕЗОНАТОРАХ

© Лучанінов А.И., Шокало В.М., Журбенко В.В., Омаров М.А., 2002

Розглянуті нелінійні ефекти, що виникають у мікросмужкових резонаторах з високотемпературними провідниками через нелінійні властивості поверхневого імпедансу останніх. З використанням нелінійних граничних умов запропонована досить коректна математична модель резонатора з провідниками довільної конфігурації. Наведено результати моделювання прохідного резонатора з емісійним зв'язком для різних рівнів вхідного впливу.

In this paper are considered nonlinear effects in high -Tc superconducting microstrip resonators which definite by nonlinear properties of surface impedance of such superconductors. With use of nonlinear boundary conditions is offered a correct mathematical resonator model with conductors of arbitrary configuration. Represented the modeling results of transmission-type cavity with capacitive coupling for different levels of entrance influence.

1. Вступ

Останнім часом у радіотехнічних пристроях, що використовуються у різних галузях досліджень, для збільшення чутливості і поліпшення вибірних властивостей мікросмужкові частотно-вибірні ланцюги виконуються на основі високотемпературних надпровідників (ВТНП) [1]. Однак, поряд з позитивними ефектами, отриманими при застосуванні ВТНП, помітно виявилися і негативні ефекти, причиною яких стали нелінійні властивості поверхневого імпедансу надпровідника. Як показують експериментальні дослідження (див. [1]), ці ефекти можуть проявити себе досить суттєво. Вони, зокрема, призводять до появи додаткових спектральних складових у відгуку пристрою, що погіршує його характеристики з погляду електромагнітної сумісності. Дотепер дослідження нелінійних ефектів у надпровідникових мікросмужкових пристроях (наприклад, у резонаторах, фільтрах) здійснювалося або експериментально, або на основі спрощених моделей [2-4].

Метою даної роботи є розробка коректної математичної моделі для розрахунку нелінійних ефектів у НВЧ мікросмужкових пристроях (МСУ), провідники яких мають властивість високотемпературної надпровідності, і моделювання з використанням цієї моделі мікросмужкових резонаторів із ВТНП.

2. Математична модель мікросмужкових НВЧ-пристроїв із ВТНП

При розробці математичної моделі передбачалося, що на поверхні ВТНП виконуються нелінійні граничні умови (НГУ), згідно з якими миттєві значення тангенціальних складових векторів напруженості електричних $\mathbf{E}(q, t)$ і магнітних $\mathbf{H}(q, t)$ полів зв'язані співвідношенням:

$$\mathbf{n}_q \times \mathbf{E}(q, t) = -\tilde{\mathbf{Z}}\{\mathbf{n}_q \times \mathbf{H}(q, t)\}, \quad (1)$$

або в еквівалентному вигляді

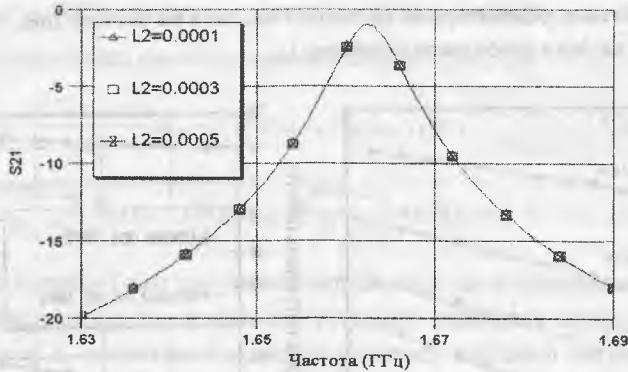


Рис. 3. Резонансні характеристики прохідного резонатора при різних значеннях нелінійної частини поверхневого імпедансу

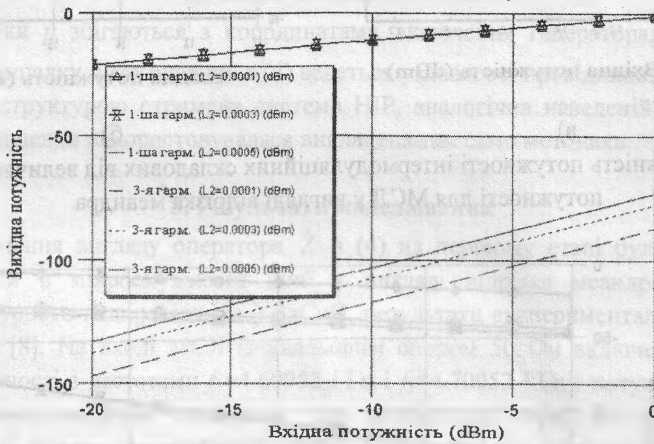


Рис. 4. Залежність вихідної потужності прохідного резонатора на основній частоті і частоті третьої гармоніки при різних значеннях нелінійної частини поверхневого імпедансу

1. IEEE Transactions On Applied Superconductivity.- 1999.- No2. 2. James C. Booth, J. A. Beall, D. A. Rudman u др. Simultaneous optimization of the linear and nonlinear microwave response of YBCO films and devices // IEEE Transactions On Applied Superconductivity.- 1999.- No2.- P. 3176 – 4184. 3. B.A. Willemsen, B.H. King, T. Dahm, D.J. Scalapino Microwave intermodulation in High- T_c superconducting microstrip resonators // IEEE Transactions On Applied Superconductivity.- 1999.- No2.- C. 4181 – 4184. 4. Vendik O.G., Vendik I.B., Samoilova T.B. Non-linearity of superconducting transmission line and microstrip resonator // IEEE Transactions Of Microwave Theory And Techniques.- 1997.- No 2.- P. 173 – 178. 5. Шифрин Я.С., Лучанинов А.И., Омаров М.А. Анализ антенн с распределенной нелинейностью. – Антенны / Под ред. Л.Д. Бахраха. – М.: ИПРЖР, 2000. Вып. 1(44). – С. 70-83. 6. Омаров М.А. Многомодовое возбуждение антенн // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 116. С. 44-49. 7. Дмитриев В.И. Общій метод расчета электромагнитного поля в слоистой среде//Вычислительные методы и программирование. - М.: Изд-во Моск. ун-та.- 1968.-Вып. X.- С. 55-65. 8. Shinho Cho, Cheon Lee Intermodulation measurements in superconducting meander lines // IEEE Transactions On Applied Superconductivity.- 1999.- No2.- C. 3998 – 4001.