

Таким чином, використання методу Галеркіна в спектральній області та вибір поліномів Чебишева в якості базисних функцій, які враховують реберну особливість поля на краях щілини, дозволили отримати ефективний алгоритм розрахунку характеристик відкритої щілинної лінії. Розбіжність отриманих чисельних результатів з експериментальними даними тільки в двох точках перевищує 2 %.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Cohn S. B.* Slot line on a dielectric substrate // IEEE Trans. on MTT.– 1969.– Vol.17.– No. 10.– P. 768–778.
2. *Mariani E. A., Heinzman Ch. P., Agrios J. P., Cohn S. B.* Slot line characteristics // IEEE Trans. on MTT.– 1969.– Vol. 17.– No.12.– P. 1091–1096.
3. *Garg R., Gupta K. C.* Expressions for wavelength and impedance of a slot line // IEEE Trans. on MTT.– 1976.– Vol. 24.– No. 8.– P. 532.
4. *Itoh T., Mittra R.* Dispersion characteristics of slot lines // Electron.Lett.– 1971.– Vol. 7.– No. 13.– P. 364–365.
5. *Knorr J. B., Kuchler K.* Analysis of coupled slots and coplanar strips on dielectric substrate // IEEE Trans. on MTT.– 1975.– Vol. 23.– No. 7.– P. 541–548.
6. *Веселов Г. И., Платонов Н. И., Слесарев Е. С.* Об учете особенностей электромагнитных полей в методе частичных областей // Радиотехника.– 1980.– Т. 35.– № 5.– С. 27–34.
7. *Морс Ф. М., Фешбах Г.* Методы теоретической физики. Т. 1.– М. : Изд-во иностр. лит., 1958.– 930 с.
8. *Erdelyi A.* Tables of Integral Transforms. Vol.2.– New York : McGraw-Hill, 1954.

Надійшла до редколегії 17.03.98.

УДК 621.758.002

ЗІНЬКОВСЬКИЙ Ю. Ф., КЛИМЕНКО В. Г., ТАРАБАРОВ С. Б.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЦІЛЬОВИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЕКРАНУВАННЯ

Запропоновано чисельну дискретну модель електромагнітного екранування, що дозволяє суттєво підвищити точність моделювання процесу порівняно з аналітичним підходом.

Моделювання електромагнітного екранування передбачає розрахунки полів, що екрануються, та ефектів їх взаємодії з металевими матеріалами екранів. Типова методика моделювання електромагнітного екранування ба-

зується на використанні співвідношення напруженостей електричних і магнітних полів, що падають на поверхню екрана і проникають в середовище, яке екранується. Процеси заломлення і відбиття полів – основних ефектів взаємодії полів і екранів – дозволяють сформувавши модель екранування у вигляді системи рівнянь Максвелла. Для діапазону частот до десятків гігерц (діапазон ДХ, СХ, КХ, УКХ радіозв'язку, метрових та дециметрових хвиль телебачення і т. ін.) може бути одержана аналітична модель екранування. Однак, хвильовий підхід в квазістатичних і електродинамічних режимах функціонування екранів дозволяє отримати лише ідеалізовані результати розрахунку показників екранування (завищені значення коефіцієнтів екранування, занадто малі товщини екранів і т. ін.), які недостатньо для інженерної практики співпадають з експериментальними даними.

Цей важливий недолік може бути подоланий, якщо моделювання процесів дифузії полів в екрани з урахуванням вихрових струмів виконати на ЕОМ чисельними методами [1–3]. Такий підхід дозволяє досліджувати процеси на глибину до окремих локалізованих в товщах екранів просторових елементів, а також суттєво підвищити точність моделювання за рахунок збільшення параметрів дискретизації процесів (кількість відліків, рівнів квантування значень величин і т. ін.), які фізично обмежені лише необхідними обсягами оперативної пам'яті ЕОМ для зберігання параметрів багатовекторних структур дискретних моделей полів.

На практиці часто використовуються замкнені екрани циліндричної форми з немагнітних металевих матеріалів ($\mu_a = \mu_0$), а струмопровідні елементи, що екрануються (котушки контурів ВЧ), коаксіально розташовані в середині екрана. Це визначає симетричний відносно подовжної осі (рис. 1) характер систем, що моделюється, і двовимірний характер задач моделювання. В перерізі такого екрана виділимо кільцеву нитку, яка проходить через довільну точку Q з циліндричними координатами (r, z, φ) , через яку протікає кільцева нитка струму довжиною L_Q , радіусом R_Q з центром на осі Z .

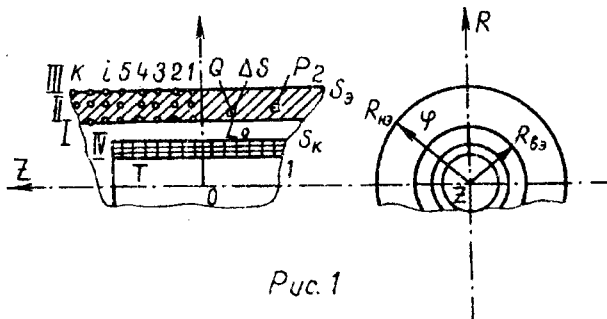


Рис. 1

Для комплексної величини густини струму i_Q в кільці Q можна записати

$$\rho_Q i_Q = E_Q, \quad (1)$$

де E_Q – напруженість електричного поля по кільцю Q , наведеного всіма струмами системи, які протікають в котушці, що скрається, і екрані; ρ_Q – питомий опір матеріалу екрана кільця Q .

Виділимо кільцевий елемент P в екрані та елемент T в котушці з малими перерізами ΔS_P і ΔS_T відповідно. Тоді для кільця Q екрана у відповідності з законом Кірхгофа можна записати:

$$2\pi R_Q E_Q = -j\omega(M_{QP}i_P \Delta S_P + M_{QT}i_T \Delta S_T), \quad (2)$$

де M_{QP} , M_{QT} – коефіцієнти взаємної індукції між кільцем Q і кільцями P та T ; R_Q – радіус кільця Q ; i_P , i_T – густини струму кільця P і T відповідно.

Підставляючи (1) в (2) і інтегруючи по перерізу екрана S_e і котушки S_k , одержимо інтегральне рівняння Фредгольма другого роду відносно невідомої густини вихрового струму

$$2\pi R_Q \rho_Q i_Q + j\omega \int_{S_e} M_{QP} i_P dS_P = -j\omega \int_{S_k} M_{QT} i_T dS_m \quad (3)$$

Якщо конфігурації котушки та екрана відомі, а також густина струму котушки $i_T = i_k W / S_k$ (i_k – значення струму в кожному витку, W – число витків котушки), то ядро M_{QP} інтегрального рівняння (3) і довільний член

$$f_Q = -j\omega \int_{S_k} M_{QT} i_T dS_T \quad (4)$$

відомі функції. Підставляючи (4) в (3), одержимо

$$2\pi R_Q \rho_Q i_Q + j\omega \int_{S_e} M_{QP} i_P dS_P = f_Q.$$

Оскільки існують активні і реактивні вносимі опори з екрана в котушку, то строго кажучи, розподілення густини струму по перерізу обмотки невідомо, поширимо дискретні кільця P і Q на всю обмотку і перетворимо (3) до вигляду

$$2\pi \rho_Q i_Q + j\omega \int_{S_e + S_k} M_{QP} i_P dS_P = \epsilon_Q, \quad (5)$$

де ϵ_Q – стороння кільцева ЕРС для кільця L_Q . Величина ϵ_Q дорівнює нулю для всіх кільць в товщі екрана, а в обмотці $\epsilon_Q = \epsilon_n / W$, де ϵ_n – ЕРС високої частоти живлення котушки.

Алгебризуючи (5) за допомогою формули Сімпсона, одержимо систему алгебраїчних рівнянь виду

$$r_Q i_Q + j\omega \sum_S M_{QP} i_P = \epsilon_Q. \quad (6)$$

Для симетричних за геометрією екранів з (6) отримаємо систему алгебраїчних рівнянь, яка в матричній формі має вигляд

$$[I] [Z] = [\varepsilon],$$

де $[I]$, $[Z]$, $[\varepsilon]$ – матриці комплексних струмів, опорів і наведених ЕРС кожного дискретного кільця.

Враховуючи взаємозв'язок густин струмів (1), струмів (6) і напруженостей полів в кільцевих елементах, коефіцієнт екранування може бути визначений формулою

$$K_{\mathcal{Q}} = \frac{E_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}}{E_{\mathcal{Q}_3}} = \frac{i_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}}{i_{\mathcal{Q}_3}} = \frac{I_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}}{I_{\mathcal{Q}_3}} = \frac{(\varepsilon_{\mathcal{Q}} - j\omega \sum I_{\text{ВН}} M_{\mathcal{Q}_{\text{ВНр}}}) r_{\mathcal{Q}_3}}{(\varepsilon_{\mathcal{Q}} - j\omega \sum I_3 M_{\mathcal{Q}_3\text{р}}) r_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}},$$

де $E_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}$, $i_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}$, $I_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}$, $E_{\mathcal{Q}_3}$, $i_{\mathcal{Q}_3}$, $I_{\mathcal{Q}_3}$ – відповідно напруженості полів, густини вихрових струмів, вихрові струми кільцевих елементів, розташованих відповідно симетрично на внутрішніх і зовнішніх поверхнях екранів, $r_{\mathcal{Q}_{\text{ВН}}}$, $r_{\mathcal{Q}_3}$ – активні опори внутрішнього і зовнішнього кільцевих елементів, $l_{\text{ВН}}$ і l_3 – внутрішня і зовнішня лінії периметрів перерізів екранів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Зиньковский Ю. Ф., Клименко В. Г. Расчет волновых сопротивлений излучателей помех при экранировании // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Радиотехника. – 1993. – Вып. 30. – С. 58–61.
2. Зиньковский Ю. Ф., Клименко В. Г. Исследование эффективности и точности моделей полей при экранировании // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Радиотехника. – 1994. – Вып. 31. – С. 63–69.
3. Зиньковский Ю. Ф., Клименко В. Г. Исследование процессов диффузионного взаимодействия электромагнитных полей и экранов // Радиозлектроника. – 1994. – № 5–6. – С. 18–24. (Изв. высш. учеб. заведений).

Надійшла до редколегії 05.05.98.