

УДК 621.372.8

Й. А. Захарія

ВПЛИВ ПОПЕРЕЧНИХ СТРУМІВ НА ВХІДНИЙ ІМПЕДАНС ЗБУДЖУВАЧА ВІБРАТОРНОГО ТИПУ У ХВИЛЕВОДІ

Use the example of thin strip waveguide exciter input impedance analysis it is the existence of transverse electrical currents on the exciter surface established. More influential are these currents on the broad strip-exciter surface located in the waveguide-crosssection plane. Transverse currents reduce the value of input resistance, and enlarge the value of input reactance. For sufficient high analysis accuracy it is necessary transverse currents on the waveguide-exciter surface to consider.

Keywords: *input impedance, transverse electrical currents, strip waveguide exciter.*

На прикладі аналізу вхідного імпедансу виявлено поперечні електричні струми на поверхні смужкового хвилевідного збуджувача вібраторного типу. Ці струми помітно впливають на широкіх смужках, розташованих у площині перерізу хвилевода. Поперечні струми знижують вхідний опір і збільшують вхідний реактанс збуджувача. Поперечні струми необхідно враховувати для забезпечення високої точності аналізу.

Ключові слова: *вхідний імпеданс, поперечні електричні струми, смужковий хвилевідний збуджувач.*

Аналіз вузлів з'єднання ліній передачі НВЧ з провідниковим елементом зв'язку (збуджувачем) сьогодні не є достатньо точний. Тому часто надають перевагу коштовному експериментальному дослідженню таких вузлів. Причиною є труднощі електродинамічного аналізу структури збуджувача, зокрема, некоординатність задачі аналізу, вплив структури його живлення і навантаження, нерівномірність розподілу густини струму як по довжині, так і по периметру провідника збуджувача, та ін. [2, 4, 6–8]. При цьому струм на поверхні провідника збуджувача вважається поздовжнім. Навіть найефективніший спектральний метод аналізу розглядає лише поздовжні струми і не враховує впливу нерівномірності розподілу густини струму на периметрі провідника збуджувача, а також інших чинників [5, 9, 10]. Поперечні струми відсутні у нескінченно тонкій нитці електричного струму. При реальних розмірах перерізу провідника збуджувача, як описано нижче, за законами електродинаміки на його поверхні виникають поперечні струми, які помітно впливають на вхідний імпеданс збуджувача. Поперечні поверхневі струми можуть виникати під впливом зовнішнього (стороннього) поля, яке тут вважаємо відсутнім.

Нижче розглядаємо вплив поперечних струмів лише на вхідний імпеданс збуджувача. Відомо, що для цього вхідного імпедансу (Z) збуджувача можна визначити всі інші параметри вузла зв'язку [1]. Однак урахування поперечних струмів суттєво ускладнює електродинамічний аналіз, зокрема, вимагає складної моделі аналізу. Якщо, наприклад, під час використання ниткоподібної моделі збуджувача з поздовжніми струмами модель є системою паралельних ниток електричного струму, то у разі урахування поперечних струмів ниткоподібна модель має вигляд сітки поздовжніх і поперечних ниток струму [2, 3].

Незалежно від форми перерізу провідника збуджувача, структуру збуджувача вібраторного типу можна зобразити системою плоских випромінювачів. Власне тому розглядаємо координатні смужкові випромінювачі. Правда, у конкретній структурі збуджувача умови симетрії можуть компенсувати вплив поперечних струмів, але вхідний імпеданс завжди враховує вплив чинників симетрії.

© Й. А. Захарія, 2010

Обґрунтування наявності поперечних поверхневих струмів числовим методом. Розглянемо випромінювання тонкої, ідеально провідної смужки (смушкового збуджувача), розташованої координатно у прямокутному хвилеводі. Ширина смужки (w) може бути встановлена в площині перерізу хвилевода x, y , де x – координата висоти хвилевода (B), y – координата ширини хвилевода (A ; $A > B$; $B/A = 0,525$), або в площині x, z , де z – координата довжини хвилевода. Висота смужки (h) в напрямі координати x $h = 0,7B$; край смужки на відстані $d = 0,2A$ від вузької стінки хвилевода, а її ширина змінюється в межах $w = (0,05..0,2)A$. Нижче наведені обчислення виконано на робочій хвилі λ ; $q = \lambda/2A = 0,7$.

Випромінюване поздовжніми струмами смужки (I_x) поле характеризується векторним потенціалом магнітного поля A_x , а напруженість випромінюваного електричного поля (E_x) визначають відомою формулою:

$$E_x = \frac{1}{j\omega\epsilon_0\mu_0} \left(\frac{\partial^2 A_x}{\partial x^2} + k^2 A_x \right), \quad (1)$$

де ω – кутова частота струму і поля; ϵ_0, μ_0 – діелектрична і магнітна проникності вакууму; $k^2 = \omega^2\epsilon_0\mu_0$ – хвильовий коефіцієнт вакууму; j – уявна одиниця. На поверхні смужкового збуджувача напруженість E_x , разом зі сторонніми напруженостями, зокрема, від апертури живлення, задовольняє граничні умови. Незважаючи, що в цьому випадку відсутні складові векторного потенціалу A_y, A_z , існують складові градієнта цього потенціалу. Тому аналогічно, як вираз (1), маємо

$$E_y = \frac{1}{j\omega\epsilon_0\mu_0} \frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial y}; \quad E_z = \frac{1}{j\omega\epsilon_0\mu_0} \frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial z}. \quad (2)$$

Отже, за наявності поздовжніх струмів, крім складової E_x , існує поперечна складова E_y , дотична до смужки, яка відповідно до граничних умов супроводжується поперечним поверхневим струмом.

Аналогічно переконаємося, що апертура живлення смужки не збуджує поперечних струмів. Для цього напруженість електричного поля в апертурі живлення смужки представимо поверхневим магнітним струмом. У нашому прикладі цей струм спрямований по координаті y . Поле випромінювання тут характеризується векторним потенціалом електричного поля \bar{A}_m , у нашому випадку складовою A_{my} , паралельною до магнітного струму. Електричну напруженість випромінюваного поля визначають за формулою

$$\bar{E} = -\frac{1}{\epsilon_0} \text{rot} \bar{A}_{my}. \quad (3)$$

У прямокутній системі координат вираз (3) можна переписати у такому вигляді:

$$\bar{E} = -\frac{1}{\epsilon_0} \begin{bmatrix} \bar{i}, & \bar{j}, & \bar{k} \\ \frac{\partial}{\partial x}, & \frac{\partial}{\partial y}, & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0, & A_{my}, & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Звідси $\bar{E} = \bar{i}E_x + \bar{k}E_z$, де

$$E_x = \frac{1}{\varepsilon_o} \frac{\partial A_{mt}}{\partial z}; \quad E_z = -\frac{1}{\varepsilon_o} \frac{\partial A_{my}}{\partial x}. \quad (5)$$

Як впливає з виразів (4) і (5), поперечна дотична до смужки напруженість електричного поля відсутня ($E_y = 0$), тобто апертура живлення смужки поперечних струмів не збуджує. Такий результат дає змогу взяти найпростішу модель структури живлення смужкового збуджувача у вигляді дельта-генератора.

З наведеного вище впливає також, що поперечні струми пропорційні до поздовжніх струмів смужки. Тому відносний вплив поперечних струмів на вхідний імпеданс збуджувача майже не залежить від характеру розподілу поздовжніх струмів. Тому і тут можна вибрати найпростішу апроксимацію розподілу поздовжніх струмів смужки. Розподіл поперечних струмів невідомий, тому застосуємо найпростішу модель їх розподілу: рівномірний розподіл на коротких відрізках.

Беручи до уваги з'ясовані вище обставини для перевірки впливу поперечних струмів на вхідний імпеданс смужкового збуджувача, використовували модель тонкої, ідеально провідної смужки у вигляді ниткоподібної сітки, як зображено на рис. 1.

Висоту смужки поділили на три частини, з яких верхня має трикутний розподіл поздовжнього струму і цим задовольняє крайову умову на висоті h ($x = h, I_x = 0$), а на долішніх відрізках розподіл струму, як і на поперечних, розподіл струму вважаємо рівномірним. Вхідний імпеданс визначаємо як відношення напруги U дельта-генератора до суми струмів у площині $x = 0$:

$$Z_i = \frac{U}{\sum_i I_i} = R_i + jX_i. \quad (6)$$

Вплив поперечних струмів визначено в процентах відносних величин $K = \Delta R / R_o$; $\kappa = \Delta X / X_o$, де $\Delta R = R_i - R_o$; $\Delta X = X_i - X_o$; $Z_o = R_o + jX_o$ – вхідний імпеданс смужкового збуджувача без урахування поперечних струмів, тобто без поперечних ниток в моделі рис. 1. Струми I_o, I_i у кожному відрізку моделі розраховано методом моментів (МоМ, [3]).

Результати аналізу і висновки. Вплив поперечних струмів розглянуто для розташування ширини смужкового збуджувача в площині x, z і в площині x, y . Як відомо, амплітуда поля в першому випадку не залежить від координати z , у другому маємо нерівномірний розподіл поля по координаті y . Тому в першому випадку вплив поперечних струмів майже відсутній ($K, \kappa < 1\%$).

У разі розташування ширини смужки в площині перерізу хвилевода поперечні струми помітно впливають у широких смужках, як це зображено на рис. 2 і 3. Ширина смужки збуджувача змінювалася в межах $w = (0,05..0,2)A$ при незмінних розмірах вікна сітки моделі $(0,05 \times 0,12)A$. У цьому випадку вхідний опір смужкового збуджувача знижується ($K < 0$), а вхідний реактанс зростає ($\kappa > 0$). Як видно з рис. 2, вплив поперечних струмів починає проявлятися при ширині смужки $w > 0,1A$, а при $w = 0,2$ досягає значень та $\kappa = 30\%$.

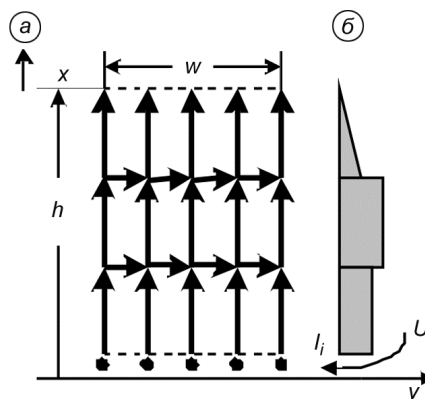


Рис. 1. Модель тонкого смужкового збуджувача у вигляді сітки ниток електричного струму (а); розподіл струму ниток висотою h (б).

Подані вище результати дійсні для цього смужкового збуджувача прямокутного хвилевода при конкретному його розташуванні у хвилеводі. Однак незалежно від цього вони засвідчують, що для досягнення задовільної точності електродинамічного аналізу збуджувачів зі значними поперечними розмірами, крім інших чинників, необхідно брати до уваги і вплив поперечних струмів. Така необхідність помітно ускладнює електродинамічний аналіз хвилевідних збуджувачів.

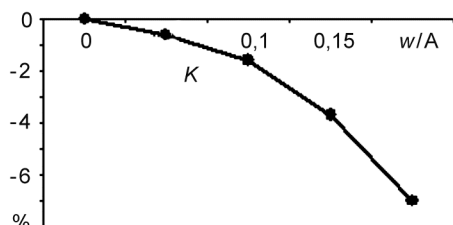


Рис. 2.

Рис. 2. Залежність відношення $K\%$ від ширини смужки збуджувача w/A .

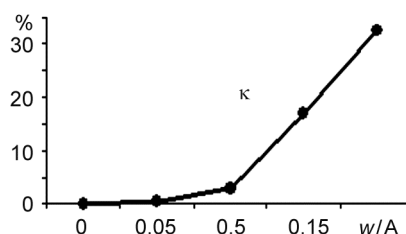


Рис. 3.

Рис. 3. Залежність відношення $\kappa\%$ від ширини смужки збуджувача w/A .

1. Захарія Й. А., Кобилянська О. В. Умова безвтратності надвисокочастотного багатополосника в задачах синтезу вузлів з'єднань ліній передачі // *Радіоелектроніка та телекомунікації* – 2009. – **645**. – С. 108–115.
2. Модель А. М., Савицкий А. Ю. Дифракція волни Н10 прямокутного волновода на решітці круглих індуктивних стержней // *Радиотехніка* – 1986. – **4**. – С. 13–18.
3. Harrington R. F. Field computation by moment methods. – New York: Macmillan comp. – 1968. – P. 240.
4. Jarem J. M. A multifilament method-of-moments solution for the input impedance of a probe-excited semi-infinite waveguide // *IEEE Trans. on Microwave theory and techniques*. – 1987. – **1**. – P. 14–19.
5. Otto D. V. The admittance of cylindrical antenna driven from a coaxial line // *Radio Science (New series)*. – 1972. – **9**. – P. 1031–1042.
6. Single post inductive obstacle in rectangular waveguide / L. Yehuda, et al. // *IEEE Trans. on Microwave theory and techniques*. – 1983. – **10**. – P. 806–812.
7. Yehuda Leviatan, Der-Hua-Shau, Arlon T. Numerical study of the current distribution on a post in rectangular waveguide // *Proc. IEEE Trans. on Microwave theory and techniques*. – 1984. – **10**. – P. 1411–1415.
8. Yehuda L., Sheaffer G. Analysis of inductive dielectric posts in rectangular waveguide // *IEEE Trans. on Microwave theory and techniques*. – 1987. – **1**. – P. 48–49.
9. Williamson A. G., Otto D. V. Cylindrical antenna in a rectangular waveguide driven from a coaxial line // *Electron. Lett.* – 1972. – **8**. – P. 545–547.
10. Zachi Baharav, Yehuda Leviatan Impedance matrix compression (IMC) using iteratively selected wavelet basis // *IEEE Trans. on Antennas and propagation*. – 1998. – **2**. – P. 226–233.