

ВЛАСТИВОСТІ ВІБРАТОРНО-СМУЖКОВОГО ЕЛЕМЕНТА ЗВ'ЯЗКУ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ НВЧ

© Захарія Й.А., 2011

За допомогою числового електродинамічного аналізу підтверджено, що вибором геометричних параметрів вібраторно-смушкового елемента зв'язку ліній передачі можна встановлювати вхідний реактанс, заданий у порівняно широких межах. Крім того, залежність вхідного реактансу має майже лінійний характер в широкій смузі робочих хвиль, що також сприяє розширенню смуги узгодженості вузлів з'єднань ліній на таких елементах зв'язку.

Ключові слова: елемент зв'язку, лінія передачі.

It is by simplified numerical electrodynamic analysis confirmed, that by choice of vibrator-strip junction element (waveguide exciter) geometrical sizes it is possible in relative broad range the given input reactance to establish. Moreover, the dependence of junction element input reactance from wavelength is nearly linear, what the widening of matching band for junction (transducer) with such junction element provide.

Key words: junction element, transmission line.

Вступ

Вузол з'єднання ліній передачі є найчастіше двовихідним вузлом, який називають також “переходом”. Він стає тривихідним, якщо одна із ліній є двоплечою. Такий шестиполіусник є вузлом зв'язку, характеристики якого визначаються властивостями елемента зв'язку. У разі з'єднання коаксіальної лінії і хвилевода цей елемент є продовженням центрального провідника лінії (вібратор, виток).

Вібраторно-смушковий елемент зв'язку, розташований у площині перерізу прямокутного хвилевода, показано на рис. 1. Елемент має дві частини: вібраторну і смушкову, причому ширина смужки встановлена в цій самій поперечній площині. Обидві частини з'єднані смушковим клиноподібним переходом. Геометричні параметри структури позначено буквами: ζ – відношення поперечних розмірів вузької (B) і широкої (A) стінок хвилевода ($\zeta = \frac{B}{A}$); D – відстань розташування

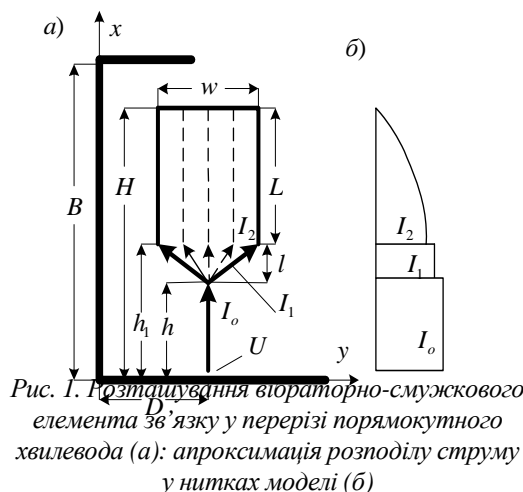


Рис. 1. Розташування вібраторно-смушкового елемента зв'язку у перерізі прямокутного хвилевода (а); апроксимація розподілу струму у нитках моделі (б)

тонкого вібратора від вузької стінки; H – висота елемента зв'язку; h – висота вібраторної частини елемента; h_1 – висота початку смужкової частини елемента; $L = H - h_1$ довжина смужки; $l = h_1 - h$ – довжина клиноподібного переходу від вібратора до смужки; w – ширина смужки; t – товщина смужки.

Діаметр провідника вібратора тут прирівнюємо до товщини смужки. Найпростіша клиноподібна (трикутна) форма переходу характеризується довжиною l і шириною w .

Властивості елемента зв'язку визначаються його вхідним імпедансом: $\frac{Z}{\rho_o} = \frac{R}{\rho_o} + j \frac{X}{\rho_o}$,

тут нормованим щодо хвильового опору вакууму: $\rho_o = 120\pi$ Ом. (Спрощено: $Z' = R' + jX'$; $R' = R/\rho_o$; $X' = X/\rho_o$.) Доведено, що для відомого вхідного імпедансу елемента зв'язку Z можна розрахувати усі параметри вузла зв'язку, чи вузла з'єднання [1]. Вхідний імпеданс залежить від геометричних параметрів вібраторно-смушкового елемента зв'язку, але оптимальне його значення відповідає особливим характеристикам [2], завдяки яким забезпечується узгодження в широкій смузі довжин робочих хвиль. Тому метою цього повідомлення є з'ясувати вплив геометричних параметрів елемента зв'язку на його вхідний імпеданс. Однак нижче не розглядаємо вплив завжди наявних деталей кріплення елемента зв'язку в порожнині хвилевода. Така обставина дає змогу застосовувати спрощення електродинамічного аналізу структури.

Спрощена розрахункова модель структури елемента зв'язку

Елемент зв'язку ліній передачі є найчастіше некоординатною структурою, аналіз якої можливий лише прикладними методами, що базуються на використанні розрахункових моделей. Адекватність моделювання електродинамічної структури, як відомо, визначає точність аналізу, в нашому випадку – точність розрахунку вхідного імпедансу елемента зв'язку. З іншого боку, краща адекватність моделі робить електродинамічний аналіз громіздкішим. Як обґрунтовано вище, в нашому випадку доцільно застосувати спрощену модель.

Насамперед структуру елемента зв'язку вважаємо ідеально провідною. Тому для аналізу нижче використано ниткоподібну модель структури. Нитки електричного струму, показані переривчасто на рис. 1, а, розташовані в площині симетрії товщини смужки ($z = 0$), зображають власне необхідну модель. Як видно, до того ж не враховані поперечні наведені струми [3]. Додатково не враховано поперечних струмів у клиноподібному переході, які мають протилежні напрями і збуджені ними поля практично взаємно компенсуються. Деяку неточність вносить і прийнятий розподіл струму вздовж кожної нитки, рис. 1, б. На коротких відрізках ниток їхній розподіл прийнято рівномірним. Лише на смужковій частині елемента зв'язку цей розподіл нерівномірний і задовольняє крайову умову при $x = H$, $I_2(x) = 0$:

$$I_2(x) = I_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{H-x}{H-h_1}\right). \quad (1)$$

Під час такої апроксимації не враховується торцевий заряд, відсутній у разі достатньо тонкої смужки [4]. Застосована модель структури живлення у вигляді дельта-генератора з напругою живлення U є також неадекватною, і може вносити відхилення розрахованого вхідного імпедансу [5]. Існує можливість уникнути зазначених вище спрощень, але вони незначно вплинуть на характер наведених залежностей.

Метою електродинамічного аналізу є визначення струму I_o в площині $x = 0$ у разі живлення елемента зв'язку напругою U . Тоді вхідний імпеданс дорівнює

$$Z = R + jX = \frac{U}{I_o}; \quad \frac{Z}{\rho_o} = \frac{R}{\rho_o} + j \frac{X}{\rho_o} = \frac{U}{\rho_o I_o}; \quad Z' = R' + jX'. \quad (2)$$

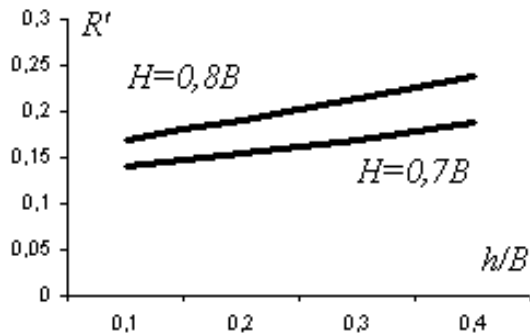
Струми в нитках моделі, а тому і струм I_o , знайдено на основі розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь, укладених відповідно до методу Гальоркіна для забезпечення граничної умови на поверхні елемента зв'язку. Порядок цих рівнянь, для моделі рис. 1, а, дорівнює одинадцяти.

Недоліки числового методу аналізу добре відомі. Однак застосування аналітичних методів, наприклад запропонованого у [6], також базується на використанні граничної умови і також вимагає розв'язання системи рівнянь.

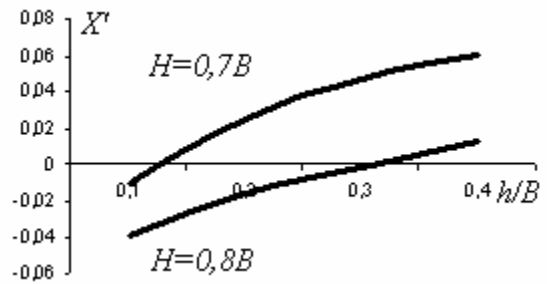
Результати аналізу і висновки

За накресленим вище алгоритмом розраховано вхідний нормований імпеданс $Z' = Z/\rho_o$ вібраторно-смушкового елемента зв'язку у прямокутному хвилеводі з відношенням сторін перерізу $\zeta = B/A = 0,525$ на робочій довжині хвилі (λ), нормований щодо ширини хвилевода:

$q = \lambda/2A = 0,7$. Товщина смужки $t = 0,05A$ збігається з діаметром вібраторної частини елемента зв'язку. Для більшості обчислень висота елемента і ширина смужки залишаються незмінними: $H = 0,7B$; $w = 0,2A$.



а



б

Рис. 2, а. Залежність вхідного нормованого опору від висоти вібраторної частини елемента зв'язку на рис. 1

Рис. 2, б. Залежність вхідного нормованого реактансу від висоти вібраторної частини елемента зв'язку на рис. 1

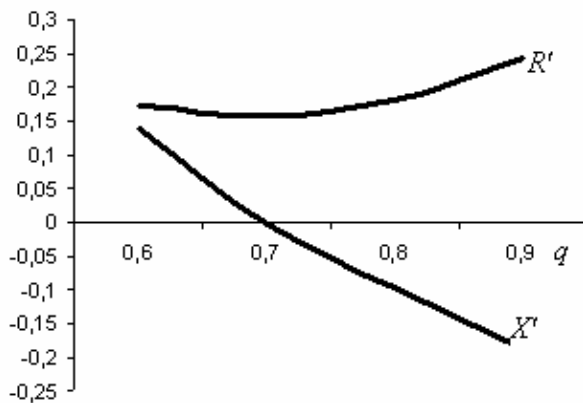


Рис. 3. Залежність складових вхідного імпедансу від нормованої довжини робочої хвилі елемента зв'язку на рис. 1

Співвідношення довжин вібраторної і смужкової частин елемента зв'язку істотно впливає на його вхідний імпеданс. На рис. 2 показано залежність складових вхідного імпедансу від змінної висоти вібраторної частини (h) при $l = 0,2B$, та незмінних вказаних вище параметрах (H, w, t, q). Змінюється також довжина смужкової частини елемента зв'язку L . Робоча складова вхідного імпедансу $\left(\frac{R}{\rho_o}\right)$, тобто вхідний опір елемента, лінійно зростає із збільшенням висоти вібраторної частини h . За величиною робоча складова тим більша, чим вищий елемент (H). Неробоча складова (реактанс) вхідного імпедансу $\left(\frac{X}{\rho_o}\right)$ для певної

висоти вібраторної частини (h) дорівнює нулю (умова резонансу). Така висота тим більша, чим вищий елемент зв'язку. Ця властивість дозволяє забезпечувати узгодження для даних резонансної довжини робочої хвилі (q_o) і висоти елемента (H), наприклад у двоплечих хвилевідних збуджувачах.

Залежність складових вхідного імпедансу від довжини робочої хвилі подана на рис. 3. Очевидно, певний мінімум відношення $\frac{R}{\rho_o}$ має місце біля резонансної довжини робочої

хвилі $\left(q = q_o; \frac{X}{\rho_o} = 0\right)$. Вхідний реактанс вібраторно-смушкового елемента зв'язку змінюється

майже лінійно в широкій смузі робочих хвиль (q). Як відомо [2], така характеристика реактансу сприяє розширенню смуги узгодженості лінії і хвилевода. Збільшення загальної висоти елемента (H) зміщує показані характеристики в бік довших робочих хвиль (більших значень q)

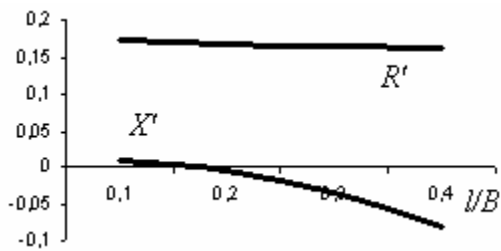


Рис. 4. Залежність нормованого вхідного імпедансу від довжини клиноподібної частини елемента зв'язку на рис. 1

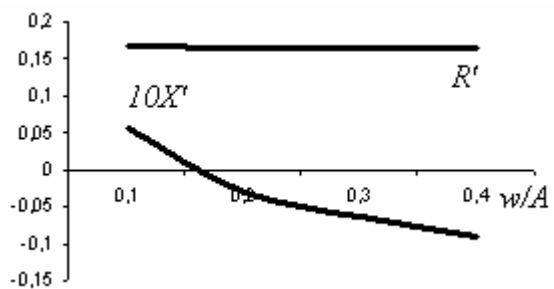


Рис. 5 Залежність жність нормованого вхідного імпедансу від ширини смужкової частини елемента зв'язку на рис. 1

На характеристики елемента зв'язку впливає і довжина клиноподібного переходу l . На рис. 4 наведена відповідна залежність складових вхідного імпедансу. У такому разі незмінною залишалася середня висота клиноподібного переходу $h_c = 0,4B$ ($h_c = (h_1 + h)/2$). Тому за зміни довжини переходу l одночасно змінюються висоти h і h_1 , тобто і довжина смужкової частини елемента L . Збільшення довжини клиноподібного переходу l за незмінних інших параметрів і довжини робочої хвилі надає вхідному імпедансу ємнісного характеру, і навпаки, у разі зменшення – індуктивного. Водночас видовження клиноподібного переходу знижує робочу складову вхідного імпедансу. Однак порівняно із впливами згаданих вище факторів зростання довжини l спричинює значно менші зміни складових вхідного імпедансу.

Незначно змінюються згадані складові також під час розширення смужкової частини елемента зв'язку (w), як зображено на рис. 5. Розширення смужки, тобто зріст параметра w , також надає вхідному імпедансу ємнісного характеру і знижує його робочу складову.

Наведений вище достатньо наблизений аналіз підтверджує наявність корисних властивостей вібраторно-смужкового елемента зв'язку з погляду ширини смуги робочих хвиль відповідного вузла зв'язку. Немає принципових перешкод виконати точніший аналогічний аналіз, хоча він мусить бути громіздкішим. Однак тоді виникає необхідність враховувати вплив деталей кріплення елемента зв'язку, тобто аналізувати складнішу електродинамічну структуру.

1. Захарія Й.А., Кобилянська О.В. Умова безвтратності надвисокочастотного багатоплюсника в задачах синтезу вузлів з'єднань ліній передачі / Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» № 645: «Радіоелектроніка та телекомунікації», Львів, Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. С. 108–115 2. Zakharia Y., Mankovsky S. Optimized thin exciter input impedance for line-to-waveguide transitions / Proceedings of the VIII-th international conference CADSM 2005. Lviv-Polyana, 23–26 February 2005. – P. 282–284. 3. Захарія Й.А. Вплив поперечних струмів на вхідний імпеданс збуджувача вібраторного типу у хвилеводі/Міжвідомчий збірник «Відбір і обробка інформації», -Львів: Вид-во ФМІ ім. Г.В. Карпенка, вип. 33 (109), 2010. – С. 5–8. 4. Захарія Й.А. Урахування впливу торцевого заряду випромінювача у хвилеводі при використанні ниткоподібної моделі структури / Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» № 618: «Радіоелектроніка та телекомунікації», Львів, Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. – С. 31–36. 5. Захарія Й.А. Вплив структури живлення на випромінювання збуджувачів електромагнітних хвиль / Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» № 534: «Радіоелектроніка та телекомунікації», Львів, Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. – С. 69–73. 6. Zakharia Y. Modeling of noncoordinate plane waveguide exciter structure for 2-D analysis by finite element method/MIKON-2004 XV International conference on microwaves, Poland, Warszawa, May 17–19, 2004. Conference Proceedings, vol. 2. – P. 582–584.