

УДК 621.372.852.1

Володимир Сторож, Андрій Проць
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедри радіоелектронних пристроїв та систем, телекомунікацій

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ ВЗДОВЖ ВИПРОМІНЮЮЧОГО КАБЕЛЮ

© Сторож Володимир, Проць Андрій, 2001

Запропонована модель для розрахунку розподілу електричного струму вздовж випромінюючого кабелю кінцевої довжини. Одержані результати підтверджено експериментально.

The model for calculation of the electric current distribution along the radiating feeder with limited length is proposed. The obtained results were confirmed experimentally.

Випромінюючий кабель – коаксіальний кабель, в зовнішній провідній оболонці якого для часткового випромінювання електромагнітного поля існують отвори, розміри яких, так само як крок між ними і діаметр самого кабелю, є значно меншими від довжини хвилі. Такі кабелі широко застосовують в системах зв'язку спеціального призначення та в периметрових системах виявлення.

Для забезпечення якісної роботи перерахованих систем бажано, щоб розподіл електромагнітного поля вздовж випромінюючого кабелю був максимально рівномірним. Розподіл поля, як відомо, визначається розподілом струму і безпосередньо біля поверхні кабелю вони практично збігаються по формі. Однак, як показують експериментальні та теоретичні дослідження, розподіл струму, а отже, і поля вздовж кабелю є нерівномірним і визначається взаємодією двох хвиль з різними постійними поширення [1]. Проте запропонована в [1] модель не відображає залежності зміни характеру розподілу поля від зміни його частоти при скінченній довжині випромінюючого кабелю.

Для розв'язання останньої задачі на основі результатів робіт [2,3] розподіл струму вздовж випромінюючого кабелю пропонується визначити так. Випромінюючий кабель, який розташовано вздовж осі X , умовно розбивається на N зв'язаних між собою елементарних вібраторів довжиною $2l$, які живляться від внутрішнього джерела ЕРС за законом біжучої хвилі. Розподіл струму, а значить і поля вздовж випромінюючого кабелю визначимо, враховуючи зв'язки між усіма елементами системи. Геометрія моделі зображена на рис. 1.

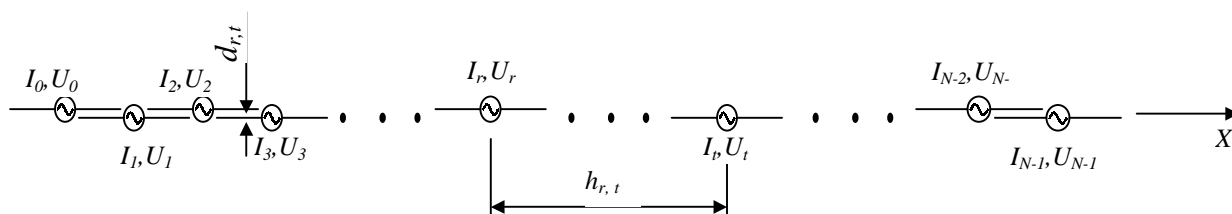


Рис. 1. Геометрія моделі

Як видно з рис. 1, індекси r і t можуть приймати будь-які значення від 0 до $N-1$. Тоді $h_{r,t}$ – це відстань між r -им і t -им елементом системи вздовж осі X , а відстань $d_{r,t}$ приймається такою, що дорівнює радіусу випромінюючого кабелю. Система рівнянь для цієї моделі буде мати вигляд

$$\|U\| = \|Z\| * \|I\|, \quad (1)$$

де Z – матриця взаємних імпедансів між елементами системи; I , U – матриці-стовпці, що визначають амплітуди струмів та напруг на клемках елементарних вібраторів, причому напруги на клемках елементарних вібраторів змінюються за законом біжучої хвилі в коаксіальному кабелі і описуються виразом $U_n = U \exp(-\gamma \cdot l \cdot n)$ при зміні n від 0 до $N-1$, де γ – комплексна постійна поширення в кабелі, l – півдовжина елементарного вібратора.

Матрицю взаємних імпедансів зв'язаних вібраторів визначали на основі [3] за умови, що елементарні вібратори розміщені колінеарно. У цьому випадку вираз, одержаний в [3] для розрахунку взаємного імпедансу між r -им і t -им елементом, матиме такий вигляд:

$$Z_{r,t} = \frac{j30}{\sin(k \cdot l)^2} \int_{-l}^l \sin[k(t - |X|)] \cdot \left[\begin{array}{l} \frac{\exp\left(-j \cdot k \cdot \sqrt{(d_{r,t})^2 + (l - h_{r,t} - X)^2}\right)}{\sqrt{(d_{r,t})^2 + (l - h_{r,t} - X)^2}} + \\ \frac{\exp\left(-j \cdot k \cdot \sqrt{(d_{r,t})^2 + (l + h_{r,t} + X)^2}\right)}{\sqrt{(d_{r,t})^2 + (l + h_{r,t} + X)^2}} - \\ - 2 \cos(k \cdot l) \frac{\exp\left(-j \cdot k \cdot \sqrt{(d_{r,t})^2 + (h_{r,t} + X)^2}\right)}{\sqrt{(d_{r,t})^2 + (h_{r,t} + X)^2}} \end{array} \right] dX. \quad (2)$$

У цьому виразі $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – постійна поширення хвилі у вільному просторі.

Аналіз виразу (2) показав, що довжину l доцільно вибрати в межах $0,05\lambda$. Зменшення цієї довжини так само, як і зменшення відстані d між елементарними вібраторами практично не впливає на результати розрахунків, але значно збільшує час обчислення.

При розв'язанні системи рівнянь (1) для довжини випромінюючого кабелю $L=40$ м з втратами $0,06$ дБ/м, заповненого діелектриком з $\epsilon=2,3$ одержано такі результати:

1. Внаслідок взаємозв'язку між елементами випромінюючого кабелю подовжній розподіл струму (поля) має складний характер – в ньому існують як швидкі, так і повільні зміни амплітуди поля (див. на рис. 2 і 3 неперервні лінії).

2. При скінченній довжині кабелю співвідношення між амплітудами швидких та повільних змін суттєво залежить від частоти. При $L=40$ м і частоті 59 МГц відношення амплітуд більше 3 (рис. 2), а на частоті 65 МГц це відношення приблизно дорівнює одиниці

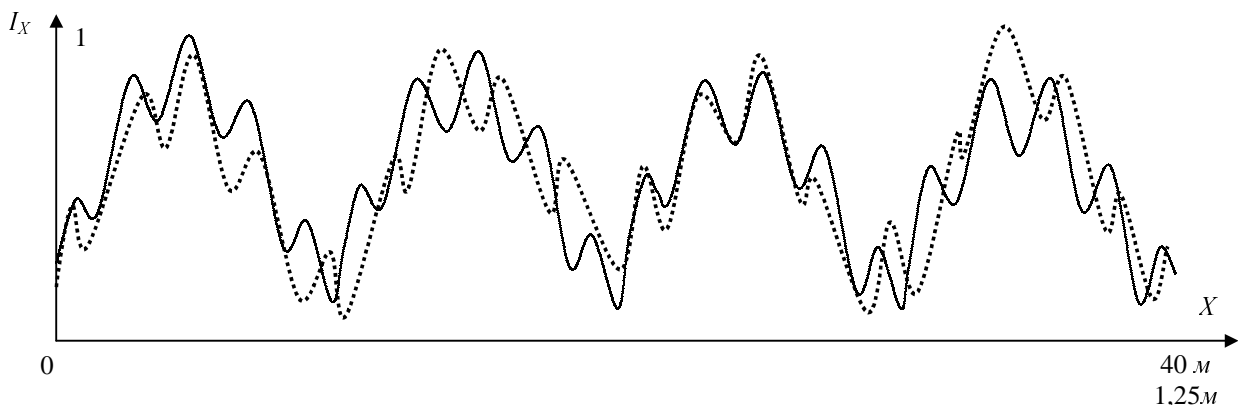


Рис. 2. Розподіл струму на частоті 59 та 1900 МГц.

(рис. 3). При виборі інших частот відношення амплітуд може досягати і більших значень.

3. Результати розрахунку підтверджуються вимірюваннями розподілу поля безпосередньо біля кабелю, одержаними експериментально шляхом масштабного моделювання в дециметровому діапазоні хвиль. Тобто, при пропорційній зміні частоти характер розподілу повторюється при постійній довжині випромінюючого кабелю. На рис. 2 і 3 пунктирними лініями показано результати вимірювання величини поля вздовж випромінюючого кабелю відповідно на частотах 1900 МГц і 2100 МГц.

Запропонована модель дозволяє розрахувати розподіл струму на паралельно розміще-

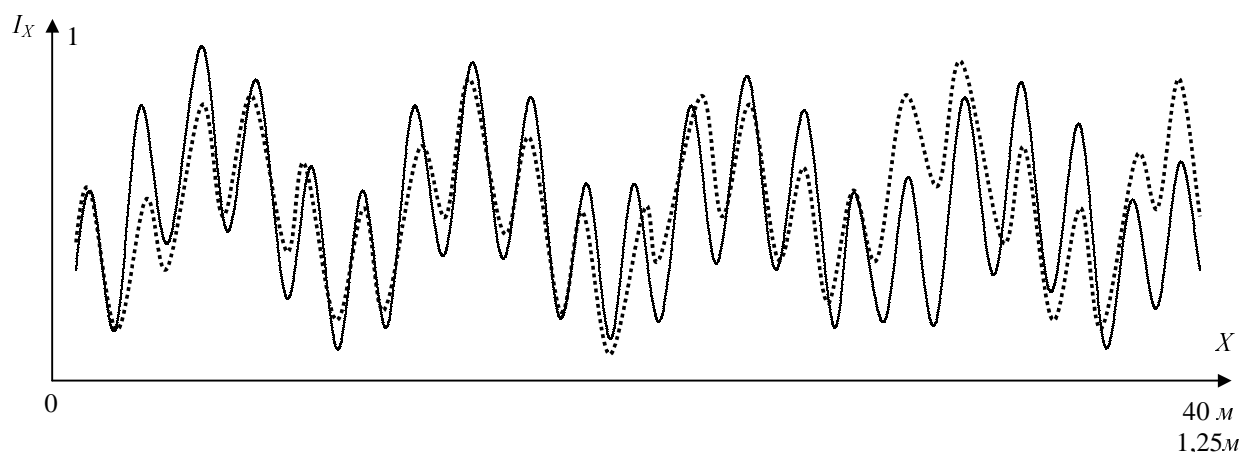


Рис. 3. Розподіл струму на частоті 65 та 2100 МГц

ному до випромінюючого пасивному (приймальному) кабелі. Для цього останній також розбивається на N зв'язаних елементарних вібраторів, але прикладена до них напруга приймається такою, що дорівнює нулю. Рівняння (1) необхідно розв'язувати з урахуванням зв'язків між усіма $2N$ елементами системи.

1. Чаплин А.Ф., Пакош З.М., Яцишин Е.М., Тебенько Я.В. Спектр волн коаксиального кабелю с прорезанной внешней оплеткой // *Електросвязь*. М., 1991, №9, с. 17–19. 2. Н. Singer. *The Method of Moments (MOM) and Related Codes* // *Tech. University Hamburg–Hamburg, Germany. Electromagnetic compatibility 1999, supplement, 13th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on electromagnetic Compatibility, February 16 – 18, 1999.* 3. *Коротковолновые антенны* / Г.З. Айзенберг, С.П. Белоусов, Э.М. Журбенко и др.; Под общ. ред. Г.З. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1985. – 535 с.