

**МІФА АНТЕНА ДЛЯ УВЧ МОДЕМА.****Частина 1: особливості та моделі антени**

Христос Басданіс

Науковий керівник – к.т.н., доц. Дмитро ГАВВА

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІРТЗІ  
м. Харків, Україна

тел. (057) 702-14-30, email: dmytro.gavva@nure.ua

The work consists of two parts. The purpose of the first part is to consider the design features, characteristics and modelling methods of the meander PIFA antenna. The purpose of the second part is to design, using the CAD package, the considered MIFA for a radio modem operating at the unlicensed frequency of 869 MHz.

Сьогодні друковані (патч, планарні) антени є дуже популярним класом антен для радіочастотних модемів, різноманітних датчиків та IoT пристроїв (рис. 1), оскільки вони прості, конформні, легко інтегруються в мобільні пристрої, малогабаритні, мають низьку вартість виробництва та високу відтворюваність розмірів, мають низький рівень зворотного випромінювання, що знижує питомий коефіцієнт поглинання порівняно з іншими типами антен при використанні в мобільних застосуваннях. Для того, щоб звичайна патч-антена (ПА) у вигляді прямокутника працювала належним чином, її довжина повинна бути трохи меншою за пів довжини хвилі ( $\lambda/2$ ) [1]. Однак для багатьох практичних застосувань, особливо на низьких частотах і в мобільних пристроях, ця довжина може бути зовсім великою. При цьому довжину мікросмужки, незалежно від способу її живлення, можна зменшити практично до половини звичайного розміру в традиційній конструкції антени. Для цього використовують на її кінці замикаючу лінію (штифт) [1]. Такі антени називають чвертьхвильовими мікросмужками ПА [1]. Їхні характеристики випромінювання подібні до звичайних  $\lambda/2$  мікросмужкових конструкцій [1].

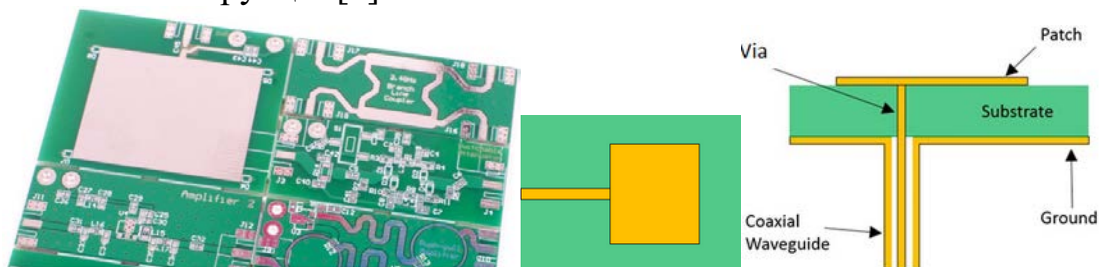


Рис. 1

Серед  $\lambda/4$  планарних антен на практиці отримали широке поширення планарні інвертовані F-антени (PIFA – Planar Inverted F Antenna). Якщо ви подивитесь на деякі мікроконтролерні плати з підтримкою Bluetooth/WiFi технологій, ви, ймовірно, побачите антену у формі перевернутої літери F

вздовж краю плати (рис. 2). На рис. 2 показана типова реалізація антени, яка складається з тонкого плеча або дроту, закороченого на одному з кінців до площини землі. Довжина плеча повинна бути приблизно  $\lambda/4$ . В такій структурі робочі параметри антени налаштовуються шляхом регулювання геометрії вздовж чвертьхвильової «вітки» антени, яку позначено на рисунку. Положення точки живлення відносно замикаючого штиря також контролює вхідний опір  $Z_{in}$  антени. Це призводить до того, що для отримання  $Z_{in} = 50$  Ом, який використовується в більшості антен, збудження антени повинно бути ближче до замкнутого, ніж до відкритого кінця антени. Отже зміна геометрії антени дозволяє змінювати її імпеданс, а це може усунути потребу в додаткових узгоджувальних пристроях і колах.

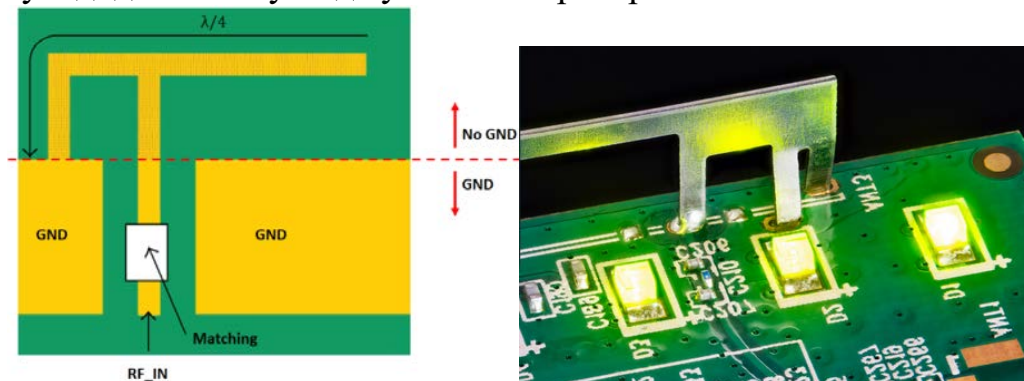


Рис. 2

Доречи, якщо порівнювати патч- і PIFA, то окрім менших розмірів і можливості безпосереднього живлення, PIFA має такі переваги, як:

- можливість працювати в багатодіпазонному режимі за рахунок використання більшої кількості гілок;
- ширина пропускну здатності антени порівнянна, але її легше налаштувати за допомогою пасивних елементів.

Площина заземлення (GND) повинна бути під всією F-подібною частиною антени. Це дозволяє в електродинамічній структурі створювати краєві поля, що випромінюються майже всепрямовано. Тому основним недоліком антени є нижчий коефіцієнт підсилення порівняно з ПА, оскільки остання випромінює у півплощину над землею. На рис. 3 показано типову діаграму спрямованості (ДС) PIFA у вигляді тору. Іншим недоліком є те, що не можна поєднувати PIFA у групи, як це можна зробити у випадку з решіткою ПА. Тому для більш досконалих антенних систем домінують саме ПА.

В деяких випадках (особливо в ультрависокому діапазоні частот) основним недоліком PIFA конструкції можна також вказати великий розмір заземлюючої поверхні та все ж таки відносно довгий випромінюючий  $\lambda/4$  вібратор [2]. Але є варіація PIFA у якій основний друкований провідник має форму меандра. Мова йде про MIFA. Меандрова частина також утворює  $\lambda/4$  секцію антени. Така модифікація дозволяє зробити антену ще

більш компактнішою. Як приклад, ця антена дуже часто зустрічається в модулі ESP8266 (рис. 3). Як бачимо з прикладу, MIFA може бути інтегрована безпосередньо в плату розроблюваного пристрою.

ДС MIFA, як і PIFA, представляє собою закритий тороїд з віссю обертання вздовж вхідного каналу (мікросмужки збудження). При цьому антена має вертикальну поляризацію, паралельну осі обертання тороїда.

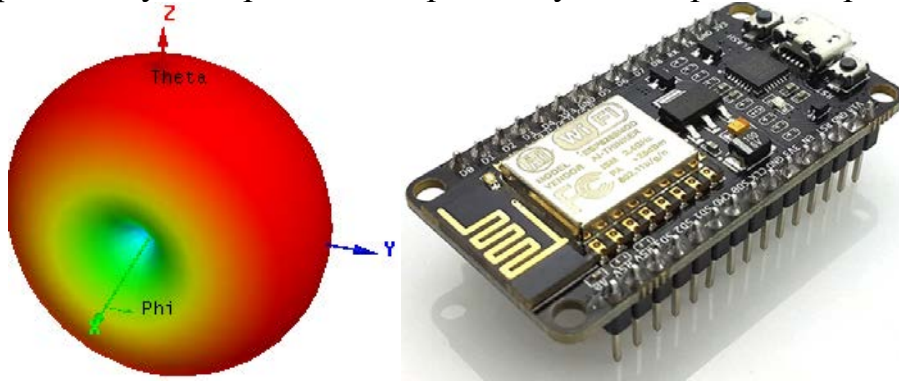


Рис. 3

На жаль, через зазвичай складну структуру F-антени не існує простих рівнянь для їх проектування. Однак оскільки вона побудована з ліній передачі, ми можемо використовувати схемний підхід для розрахунку деяких характеристик, наприклад,  $Z_{in}$  для заданої ширини мікросмужкової лінії.

Тут відзначимо декілька нюансів. Проектувальник має свободу вибору імпедансу мікросмужкової лінії, що використовується в конструкції антени. Жорстких вимог до певної ширини мікросмужкової лінії немає, але слід розуміти, що імпеданс може бути і дуже великим, навіть за значення імпедансу для хвилі, що розповсюджується, у вакуумі або діелектриках.

Хоча характеристичний імпеданс ділянок траси мікросмужок антени визначити складно, постійну поширення  $\gamma$  та загальну довжину антени  $L$  визначити досить легко, виходячи з потрібної робочої частоти  $f$ , відповідно, чверті довжини хвилі для цієї частоти  $f$ :  $\gamma = \omega\sqrt{\epsilon_r}/c_0$ ,  $L = c_0/(4f\sqrt{\epsilon_r})$ . Після визначення  $\gamma$  вхідний опір антени можна розрахувати за допомогою моделі кола за умови, що нам відомий опір провідника. Наведена на рис. 4 модель кола показує дві гілки у стандартній схемі заміщення антени, де одна гілка закорочена ( $Z_1 = 0$  Ом), а інша розімкнена ( $Z_2 = \infty$  Ом). Якщо поєднати ці дві гілки паралельно та використати стандартне рівняння  $Z_m$  для кожної «ніжки» електродинамічної структури, можна отримати наступний результат для вхідного імпедансу антени:

$$Z_{in} = Z_0 \left( \coth(\gamma \cdot l_1) + \tanh\left(\gamma\left(\frac{\lambda}{4} - l_1\right)\right) \right)^{-1}.$$

Після того, як  $Z_{in}$  знайдено, його можна узгодити з лінією живлення антени, наприклад, за допомогою LC-мережі узгодження імпедансу, або зсувом точки підключення лінії живлення.

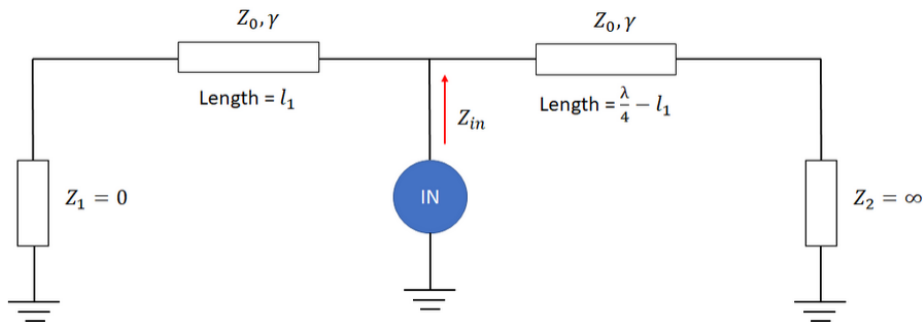


Рис. 4

Виникає питання, а якою моделлю користуватися при проектуванні – компонентною, про яку ми тільки що згадали (моделю можна зібрати та аналізувати в програмах схемотехнічного аналізу, таких як Schematic AWR), чи електродинамічною моделлю, яка реалізується як 3D структура в різноманітних програмних засобах, таких як HFSS, AWR, FEKO тощо, та прораховується на основі математичних методів (кінцевих елементів, моментів, гармонійного балансу, кінцевих різниць тощо).

Є вагомі причини застосовувати обидва варіанти, і по деяким параметрам антени ви отримаєте приблизно однаковий результат розрахунків. Багато хто з інженерів для створення антени на початковому етапі віддають перевагу використанню компонентної моделі, але це має бути зроблено відповідно до завдання певних вихідних даних – товщини шарів провідника, товщини та діелектричної постійної підкладки тощо. Компонентна модель дає можливість прорахувати деякі параметри антени без значних обчислювальних та часових витрат. Нажаль модель не дозволяє в повній мірі прорахувати усі характеристики, наприклад ДС. Але в нашому випадку, для аналізу саме F-антени, враховуючи, що її ДС має форму тору, це обмеження не критичне. Використання ж методів моделювання 3D електродинамічної структури, коли вона має складну форму (наприклад, у вигляді меандру), коли є необхідність в застосуванні оптимізації для підлаштування геометричних параметрів антени під потрібну робочу частоту, коли все ж таки необхідно прорахувати частотні характеристики та ДС, все ж таки не має альтернативи.

В наступній частині роботи буде проведено проектування MIFA під задану частоту саме з використанням 3D моделювання та оптимізації в програмі HFSS.

Перелік джерел посилання.

1. Constantine A. Balanis. Antenna Theory. Analysis and Design. 4-th ed. John Wiley & Sons, Inc. 2016, 1072 p.
2. Nael Adel, R. and Hasan Khidir, A. Design and implementation of the planar inverted-F antenna using computer simulation technology for wireless applications. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications. 2023, Vol. 14, Issue 5, pp. 103 – 112.