

УДК 621.396.67

В. І. ПРИМАЧЕНКО, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АНТЕНИ МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Здійснено комп'ютерне моделювання роботи антени мобільної станції системи стільникового зв'язку в програмованому середовищі MMANA. Показано, що таке імітаційне моделювання дозволило в автоматичному режимі встановити доцільні розміри антени, що забезпечують найефективнішу її роботу.

Ключові слова: мобільна станція; антена; MMANA; імітаційне моделювання.

Вступ

Постановка проблеми. Мобільний зв'язок завдяки номенклатурі послуг та рівню комфортності дедалі впевненіше домінує в сучасній системі комунікацій. Його ефективність значною мірою визначається властивостями антенно-фідерних трактів мобільних станцій (МС).

Специфічні вимоги до антен МС такі: малі габаритні розміри та маса, ергономічне вписування в корпус МС, а також механічна міцність і захищеність від впливу зовнішніх електромагнітних полів. При цьому підходи до електродинамічних параметрів антен МС не є виняткові [1]. Адже суворі вимоги стосовно рівня поглинання в тілі користувача НВЧ потужності спонукають до проведення складних і високовартісних вимірів на спеціальних моделях тіла людини, які не завжди й можливі. За цих умов істотно зростає роль імітаційного моделювання при розрахунку і виборі системи стільникового зв'язку.

Антенні МС виконують як проводові, у тому числі із застосуванням друкованих технологій, або з металокераміки. Зазначені антени належать до простих неспрямованих, що працюють у дециметровому діапазоні радіохвиль (300...3000 МГц).

Як антени в мобільних стільникових телефонах знайшли значне поширення [2]:

- чвертьхвильовий несиметричний диполь;
- спіральна антена.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У 2016 році виповнюється 70 років з моменту публікації першої теоретичної праці, в якій було обґрунтовано фундаментальні межі параметрів так званих електрично малих антен [3; 4].

Сьогодні маємо розвинений теоретичний апарат і успішний досвід застосування різних чисельних методів електродинамічного моделювання [1; 2; 4–6]. Деякі з цих методів реалізовано в низці комерційних програм, що дозволяють здійснювати ефективне комп'ютерне моделювання складних електродинамічних систем [7; 8].

Серед таких програм варто відзначити безкоштовний пакет MMANA-GAL [9]. MMANA — це програма моделювання та розробки антен, що працює в середовищі Windows. Обчислювальною основою програми MMANA, її ядром є програма

MININEC Ver.3, створена для цілей американських ВПС у Washington Research Institute [9].

MININEC базується на методі багатовимірних матриць (моментів), який з огляду на лінійність антени розглядає її властивості як суперпозицію властивостей елементарних частинок — сегментів, на які розбивається кожний провідник антени за замовчуванням або примусово — за заданням користувача. Саме це робить програму універсальною і дозволяє застосовувати її до антен різних геометричних форм. Далі в середній точці кожного сегмента обчислюються струми — як власні, так і наведені від усіх інших сегментів, і визначаються властивості антени.

Усі додаткові функції та інтерфейс, тобто оболонка програм, написані японським програмістом Makoto Mori [9; 10]. Назва програми MMANA — це абревіатура *Makoto Mori Antennas Numerical Analyzer*. Удосконалену версію програми MMANA під назвою MMANA-GAL створили І. Гончаренко та О. Шевелєв [9].

Основна частина

Деякі види проводових антен різних виробників мобільних станцій подано на рис. 1. Активні елементи таких антен — вібратори тієї чи іншої форми — як плоскі, так і спіральні. Об'єктом дослідження візьмемо антену МС порівняно простої геометрії, наприклад позначену зірочкою на рис. 1.

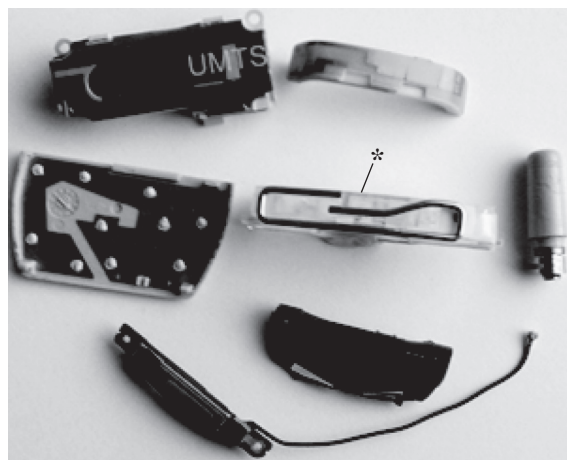


Рис. 1

Програмне середовище MMANA моделює антени, що являють собою сукупність з'єднаних відрізків провідників. Тому суцільнометалевий відбивач антени системи супутникового зв'язку не дозволяє безпосередньо застосувати цю програму для моделювання роботи параболічної антени. Для подолання такого обмеження суцільнометалевий відбивач замінюють сіткою, утвореною з'єднаними відрізками провідників. Чим менші розміри клітинки зазначеної сітки, тим точніше вона наближатиметься до реальної суцільнометалевої поверхні відбивача, але й тим більше часу знадобиться для моделювання.

Компроміс у виборі розміру клітинки сітки досягається тоді, коли зменшення його на 20% призводить до менш ніж 5% -вої зміни результатів моделювання.

Будь-який із провідників, що входить до складу антени, можна виділити за допомогою спеціального покриття. При цьому він потовщується, а його параметри відображаються у вікні закладки «Вид» праворуч унизу.

Обмежень щодо взаємного розташування провідників немає, тобто яку завгодно конфігурацію провідників буде розраховано коректно.

Максимальна кількість провідників — 512; джерел — 64; навантажень — 100.

Максимальна кількість точок розрахунків — 8192 (установлено за замовчуванням — 1280).

Програма MMANA має ефективні сервіси, забезпечуючи два способи вводу вихідних даних про геометрію антен — табличний і графічний; має місце 3D-графіка зображення діаграм спрямованості з можливістю порівняння їх завдяки розміщенню на одному графіку для здійснення модифікацій антени; електронний візир; опція оптимізації за певними критеріями, що пропонуються програмою і обираються користувачем.

Для імітаційного моделювання властивостей антени МС дані про її геометричні розміри було введено у програму MMANA графічно («Вычисления/Правка провода»). Після цього в головному вікні програми (закладка «Геометрия» — рис. 2) автоматично відображаються у формі таблиці дані щодо прямолінійних відрізків провідників (їм присвоєно номери 1, ..., 14), з яких користувач виконав антену: координати точок початку і кінця провідників, їхній радіус ($R = 1$ мм) та місце під'єднання джерела сигналу до антени (усередині провідника № 4), а у вікні закладки «Вид» (рис. 3) постає зовнішній вигляд антени (провідник № 13, розташований уздовж осі Ox , є одночасно й елементом кріплення антени до пластмасового держача).

Моделювання властивостей антени МС було виконано для частоти 900 МГц (довжина хвилі $\lambda = c/f = 3 \cdot 10^8 / 900 \cdot 10^6 = 0,333$ м, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — швидкість світла), висоти підвісу антени 1,5 м

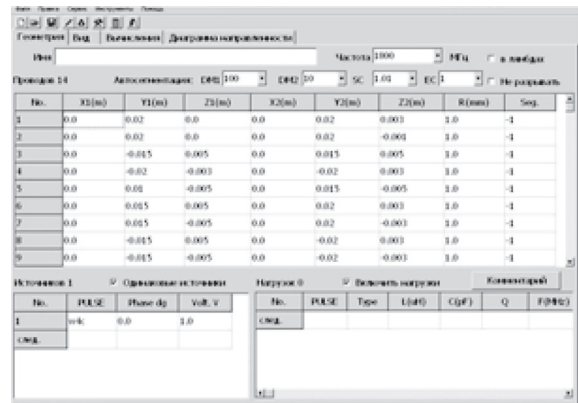


Рис. 2

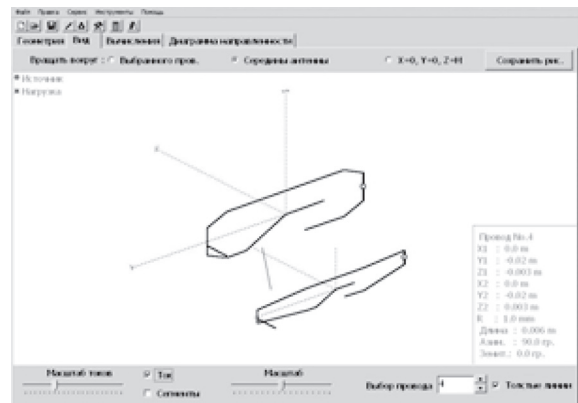


Рис. 3

та «Реальной Земли». Матеріал провідника антени — мідь. Виміряна загальна довжина l провідника спрямованої антени становила 11,6 см ($l = \lambda/2,87 < \lambda/2$), тобто параметри даної антени МС були близькі до параметрів напівхвильового вібратора.

Результати моделювання (закладка «Вычисления»/Пуск) унаочнює рис. 4.

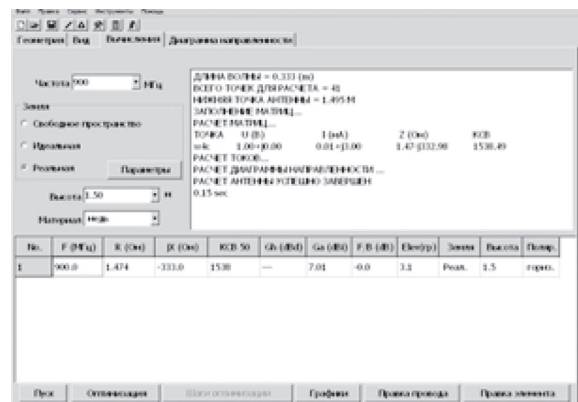


Рис. 4

Вихідні 14 відрізків антени у процесі аналізу було згідно з методом моментів поділено програмою на 41 елементарний відрізок (звідси й 41 точка для розрахунку матриць).

Обчислені параметри антени наведено на рис. 4, а її діаграму спрямованості — на рис. 5.

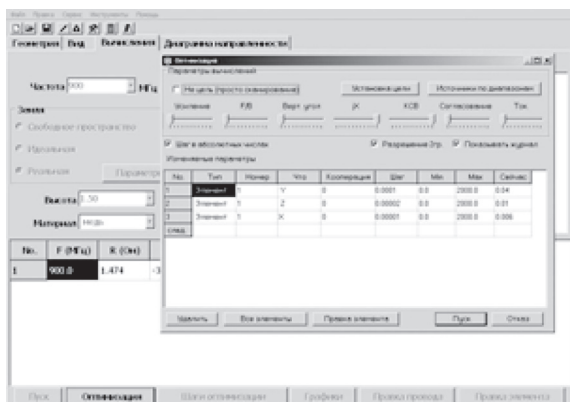


Рис. 5

Із даних, які вміщено на рис. 4, випливає, що ця антена в зоні поблизу частоти 900 МГц працюватиме неефективно: через те, що ємнісна реактивна складова внутрішнього опору ($X = -j333 \text{ Ом}$) дуже значна порівняно з малою його активною складовою ($R = 1,47 \text{ Ом}$), антена має неприпустимо великий коефіцієнт стоячої хвилі ($KСХ = 1538$). Отже, вона потребує модифікації з метою наближення режиму її роботи до резонансного. Зі збереженням загальної конфігурації антени цього можна досягти зміною її розміру. Програма MMANA дозволяє це зробити в автоматичному режимі, використавши закладену в неї опцію «Оптимізація».

Оптимізацію антени проводимо за двома критеріями: мінімізацією параметрів як jX , так і $KСХ$. У закладці «Параметри вычислений» параметри jX та $KСХ$ (рис. 6) встановлюємо праворуч (важливі параметри), решту — ліворуч (параметри, що не мають істотного значення), а у вікні «Установка цели/Цель/Ток в точке» вказуємо w4c — точку вводу сигналу в антену.

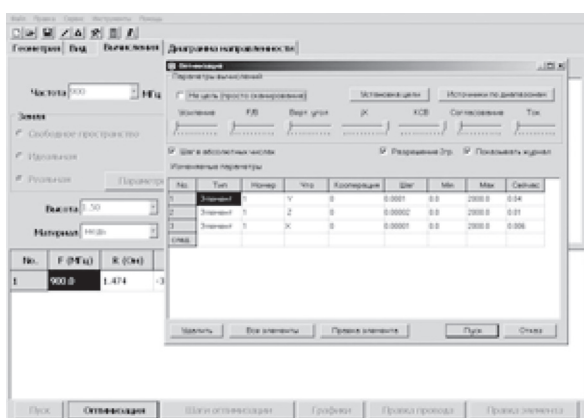


Рис. 6

Після оптимізації (рис. 7) змінюються геометричні розміри антени (див. рис. 3, нижній рядок), а її параметри суттєво поліпшуються: активна складова внутрішнього опору збільшується до $R = 21,34 \text{ Ом}$, а його реактивна складова та коефіцієнт стоячої хвилі зменшуються до прийнятних значень $X = -j0,067 \text{ Ом}$ та $KСХ = 2,33$. При цьому

дещо змінюється діаграма спрямованості антени — див. рис. 5 (ліворуч, внутрішня крива) порівняно з діаграмами спрямованості антен до оптимізації (зовнішня крива). За допомогою мірної сітки та електронного візира («Вычисления/Правка провода») можна виміряти габаритні розміри антени після оптимізації та реалізувати її.

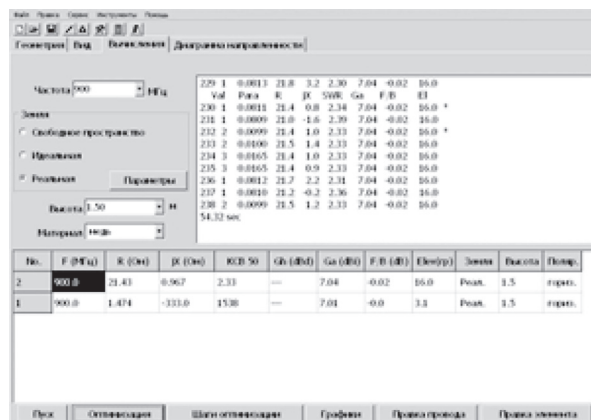


Рис. 7

Результати аналізу в середовищі MMANA активної R і реактивної jX складових внутрішнього опору та $KСХ$ оптимізованої за заданими критеріями мінімуму jX та $KСХ$ антени МС (див. рис. 1) при різних діаметрах мідного провідника наведено в таблиці.

Результати аналізу в середовищі MMANA

d, мм	R, Ом	jX, Ом	KСХ
1,0	15,67	0,583	3,19
1,5	18,84	1,41	2,66
1,7	25,06	2,728	2,01
2,0	21,43	0,967	2,33
2,4	23,56	1,032	2,12

Отже, за критерієм мінімуму $KСХ$ доцільно вибрати діаметр провідника антени 1,7 мм.

Висновки

Імітаційне моделювання роботи антени МС системи стільникового зв'язку в програмному середовищі MMANA з використанням закладеної туди процедури оптимізації дозволило не тільки визначити й проаналізувати параметри антени, а й установити в автоматичному режимі такі її розміри, що забезпечують найефективнішу роботу МС у режимі, наближеному до резонансного. Довжина провідника спрямованої антени після оптимізації $l_{\text{опт}} = 19,2 \text{ см}$ ($l_{\text{опт}} = \lambda/1,73 > \lambda/2$) і досить суттєво відрізняється від довжини $l = \lambda/2,87 < \lambda/2$ провідника спрямованої антени до оптимізації.

Імітаційна модель антени МС дозволяє розв'язати низку завдань із доцільного вибору елементів антени.

Література

1. Антени телекомунікаційних і моніторингових систем / [Л. Я. Ільницький, Л. В. Сібрuck, П. В. Слободянюк, В. Г. Благодарний].— К., Укр-частотнагляд, 2012.— 240 с.

2. Fujimoto, K. *Mobile Antenna Systems* / K. Fujimoto, J. R. James.— Handbook.— Norwood: Artech House, 2008.— 710 p.

3. Слюсар, В. И. 60 лет теории электрически малых антенн. Некоторые итоги / В. И. Слюсар // *Электроника: НТВ*.— 2006.— № 6.— С. 10–19.

4. Wheeler, H. A. *Fundamental limitations of small antennas* / H. A. Wheeler // *Proceedings of the IRE*.— Dec. 1947.— P. 1479–1488.

5. Adams, R. C. *Evaluation of «Q» in an Electrically Small Antenna in Prolate Spheroidal Coordinates* / R. C. Adams, P. M. Hansen.— San Diego: Space and Naval Warfare Systems Center U. S. Navy, 2004.— 32 p.

6. Minh-Chau, T. *Numerical and Experimental Investigation of Planar Inverted-F Antennas for Wireless Communication Applications* / T. Minh-Chau, A. Huynh.— Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.— 123 p.

7. Сайт програми CST Studio Suite [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://www.cst.com/Products/CSTMWS>.

8. Гончаренко, И. В. Программа моделирования антенн MMANA [Електронний ресурс] / И. В. Гончаренко.— Режим доступу: <http://rfanat.ru/s4/mmana.html>

9. Гончаренко, И. В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA / И. В. Гончаренко.— М.: РадиоСофт 2002.— 80 с.

10. Сайт, присвячений розробкам японського програміста Makoto Mori [Електронний ресурс].— Режим доступу: <http://hamsoft.ca>.

Рецензент: доктор техн. наук, професор В. А. Дружинін, Державний університет телекомунікацій, Київ.

В. И. Примаченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АНТЕННЫ МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Проведено компьютерное моделирование работы антенны мобильной станции системы сотовой связи в программируемой среде MMANA. Показано, что данное имитационное моделирование позволило в автоматическом режиме установить размеры антенны, обеспечивающие наиболее эффективную ее работу.

Ключевые слова: мобильная станция; антенна; MMANA; имитационное моделирование.

V. I. Primachenko

MODELING OF OPERATION OF THE ANTENNA OF MOBILE STATION OF CELLULAR COMMUNICATION

Computer modeling of operation of the antenna of mobile station of system of cellular communication in the programmable MMANA environment is carried out. It is shown that imitating modeling of operation of the antenna of mobile station in the program MMANA environment allowed to establish the expedient sizes of the antenna which ensure its most effective functioning in the automatic mode.

Keywords: mobile station; antenna; MMANA; imitating modeling.

УДК 621.39

А. О. МОШЕНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доцент, позивний сигнал UT5UUV,
Президент Київського міського радіоклубу

Науково-дослідна радіостанція Національного університету харчових технологій: антенна система

Описано сконструйований автором і упродовжений ним на базі Національного університету харчових технологій радіокомплекс багатоцільового (навчального, науково-дослідного та радіоспортивного) призначення, оснащений ефективною антенною системою в оригінальному авторському вирішенні та виконанні.

Ключові слова: науково-дослідна радіостанція; автономний режим роботи; КХ, УКХ антена.

Вступ

У Національному університеті харчових технологій на кафедрі ІС факультету АКС автор увів у дію колективну (клубну) радіостанцію власної конструкції з позивним сигналом UT4UYF [1]. Радіостанція використовується для проведення експериментів у галузі безпроводових інформаційних технологій [2]. Операторами радіостанції виступають не лише співробітники, аспіранти й студенти Університету. Більш того, науковці з інших навчальних закладів часто послуговуються обладнанням UT4UYF.

Сьогодні, у добу інтернету та стільникового зв'язку проблем комунікації, здавалося б, у світі майже не існує. Але лише незначну частину густонаселених регіонів нашої планети охоплено наземними сервісами сучасного пакетного передавання даних. Супутниковий зв'язок, безумовно, наднадійний, але далеко не завжди доступний за сіб спілкування, причому не лише з економічних причин.

Утім отримати свій власний надійний канал передавання даних на великі відстані без застосування ретрансляторів не так і важко. Користува-