

ОГЛЯДИ

УДК 621.396.674.3

УЛЬТРАШИРОКОСМУГОВІ ПЛАНАРНІ АНТЕНИ

Дубровка Ф.Ф., Василенко Д.О., Овсяник Ю.А.

Подано огляд сучасних ультраширокопasmугових планарних антен. Головну увагу зосереджено на логоперіодичних антенах, широкопasmугових диполях та монополях.

Останнім часом спостерігається бурхливий розвиток ультраширокопasmугових (Ultra Wide Band - UWB) радіосистем різного призначення. Особлива увага приділяється ультраширокопasmуговим радарам різного призначення, а саме радарам “проникаючого” типу (Ground Penetration Radar - GPR), які знаходять широке коло практичних застосувань у повсякденному житті. Зокрема, це пошук мін (в тому числі пластикових), пошук підземних ліній комунікацій (включаючи не тільки металеві лінії), моніторинг доріг та залізничних полотен, пошук людей під завалами, археологічний пошук, моніторинг мостів, фундаментів та інших споруд, пошук корисних копалин, медична галузь застосування, тощо. Крім того, створюються ультраширокопasmугові комунікаційні мережі. Ключовим елементом GPR та інших UWB – радіосистем є ультраширокопasmугова антена. Принципи побудови ультраширокопasmугових антен відомі давно. Так, ще у 1898 році Oliver Lodge запропонував структури біконічного та сферичного диполя, диполя із плечима трикутної та квадратної форми [1], детальний аналіз яких було здійснено значно пізніше. До 40-х років минулого століття роботи по розширенню робочої смуги були пов'язані головним чином із оптимізацією просторової форми антени (зокрема, були розроблені різноманітні варіанти рупорів і монополів [1]).

Останнім часом існує великий попит на антени, здатні працювати у широкій смузі частот і на ортогональних поляризаціях при незначних масогабаритних параметрах та низькій собівартості. Тому значна увага приділялася друкованим та щілинним антенам.

Загальновідомим визначенням, за яким можна класифікувати антени за шириною робочого діапазону частот, є смуга частот у процентах:

$$СЧ = \frac{2 \cdot (f_B - f_H)}{f_B + f_H} \cdot 100\%,$$

де f_B та f_H – верхня та нижня частота робочого діапазону частот.

Ультраширокопasmуговими вважаються антени, що мають значення СЧ 100% і більше.

Під визначення ультраширокопasmугових серед інших підпадають наступні види планарних антен: мультикільцеві, фрактальні, антени типу

“метелик” (bow-tie), спіральні, логоперіодичні антени. Схематичне зображення цих антен подано на рис. 1.

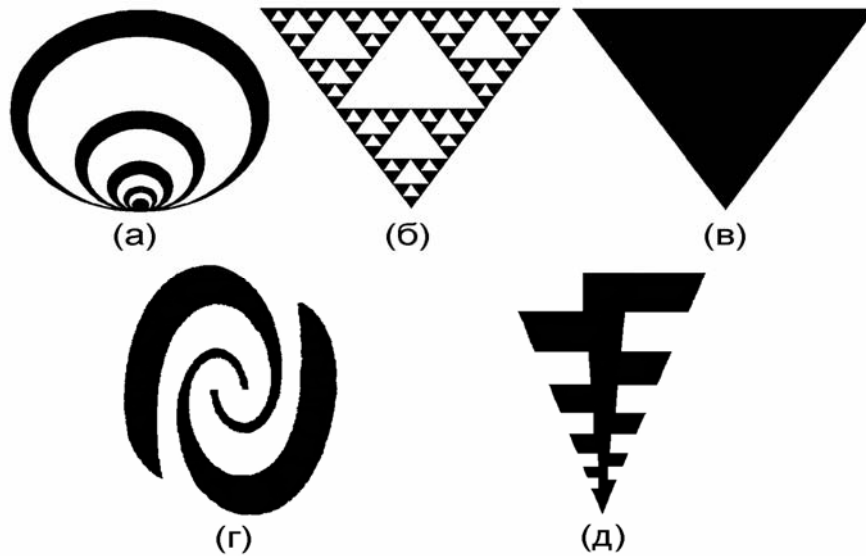


Рис.1 Конструкції ультраширокопосмугових планарних антен:

- а - мультикільцева антена; б - плече фрактальної антени Серпінські;
в - плече антени типу “метелик” (bow-tie); г - логоспіральна антена;
д - плече логоперіодичної антени

Мультикільцеві та фрактальні антени здатні перекривати значний діапазон частот, але вони принципово є багатосмуговими [2 – 5]. Антени типу “метелик” також відносяться до класу широкопосмугових, але мають обмеження щодо покриття діапазону частот, натомість як спіральні та логоперіодичні антени вважаються частотнонезалежними, бо можуть перекривати майже необмежений діапазон частот. До недоліків спіральних антен можна віднести досить складну форму, еліптичну поляризацію поля випромінювання (що не завжди потрібно) та складність побудови антенних решіток на їх основі.

Логоперіодичні антени

В основу розвитку частотнонезалежних антен покладений принцип електродинамічної подібності. У свою чергу електродинамічна подібність базується на двох принципах: принцип кутів (принцип Рамсея [6]) та принцип логарифмічної періодичності антени. Допоміжним є принцип про самодоповнювальні структури, який був запропонований Ясуто Мушіаке (Yasuto Mushiake) у 1948 р. [7 – 9]. Антени із самодоповнювальною структурою мають сталі характеристики вхідного імпедансу, які не залежать від частоти та форми структури. Принцип Ясуто Мушіаке широко застосовується у створенні широкопосмугових, частотнонезалежних самодоповнюва-

льних логоперіодичних антен [10], дипольних логоперіодичних антен [11, 12] та антенних решіток на їх основі. Згодом почалося освоєння цього виду антен і з'явилися публікації, в яких було запропоновано величезну кількість різновидів конструкцій логоперіодичних антен, які відрізняються за формою, розмірами та характеристиками.

Значною увагою, в см- та мм-діапазонах, користуються *щілинні логоперіодичні антени*. На рис. 2а зображена антена з копланарною лінією живлення та щілинами в якості випромінювальних елементів. В роботі [13] подано результати дослідження структури з 5, 7, 9 та 11 елементами при різних значеннях масштабного множника ($\tau = 0,75 \dots 0,95$) та куті розкриття α . При оптимальних значеннях цих параметрів та кількості вібраторів ширина робочої смуги частот склала 38...48% при значенні КСХ < 2. До недоліків слід віднести значний рівень -12...-15 дБ кросполяризаційного випромінювання. На рис. 2б показана *петлева щілинна антена (Folded Slot)* на основі копланарної лінії живлення [14, 15], а на рис. 2в *логоперіодична щілинна антенна з міккострічковим живленням* [16].

Одним з перспективних напрямків розвитку плоских широкосмугових логоперіодичних антен є використання у якості випромінювального елемента пластини (patch) рис. 2г, що розташована над резонансною щілиною, яка дозволяє розширити робочу смугу частот як окремого випромінювального елемента (щілини) так і антенної решітки в цілому [17, 18].

На рис. 2д зображена плоска широкосмугова логоперіодична антенна решітка, що працює в багатомодовому режимі та здатна забезпечити прийом і передачу сигналів будь-якої поляризації та з будь-якого напрямку в межах $0 \dots 360^\circ$ в азимутальній площині та $0 \dots 180^\circ$ по куту місця [19 – 21]. Кількість мод залежить від кількості пліч антени. У випадку структури з вісьмома плечима існує по три моди для правого та лівого напрямку обертання вектора електричного поля. При роботі на основній моді (першій) у просторі формується однопелюсткова діаграма спрямованості, орієнтована перпендикулярно до площини антени. У випадку вищих мод (другої та третьої) формується багатопелюсткова діаграма спрямованості з максимумами, що лежать під кутом до центральної осі антени. Збудження тієї чи іншої моди в решітці відбувається за допомогою певного розподілу фаз в лініях живлення, якими збуджується антена. Для забезпечення потрібного фазового розподілу використовується матриця Батлера.

Широкосмугові диполі та монополі

Антени, які містять яскраво виражені резонансні елементи (наприклад, логоперіодичні, спіральні), хоча і здатні забезпечити дуже широку робочу смугу частот (10:1 і більше), однак можуть використовуватися для випромінювання UWB-сигналів лише обмежено, оскільки є дисперсійними [22].

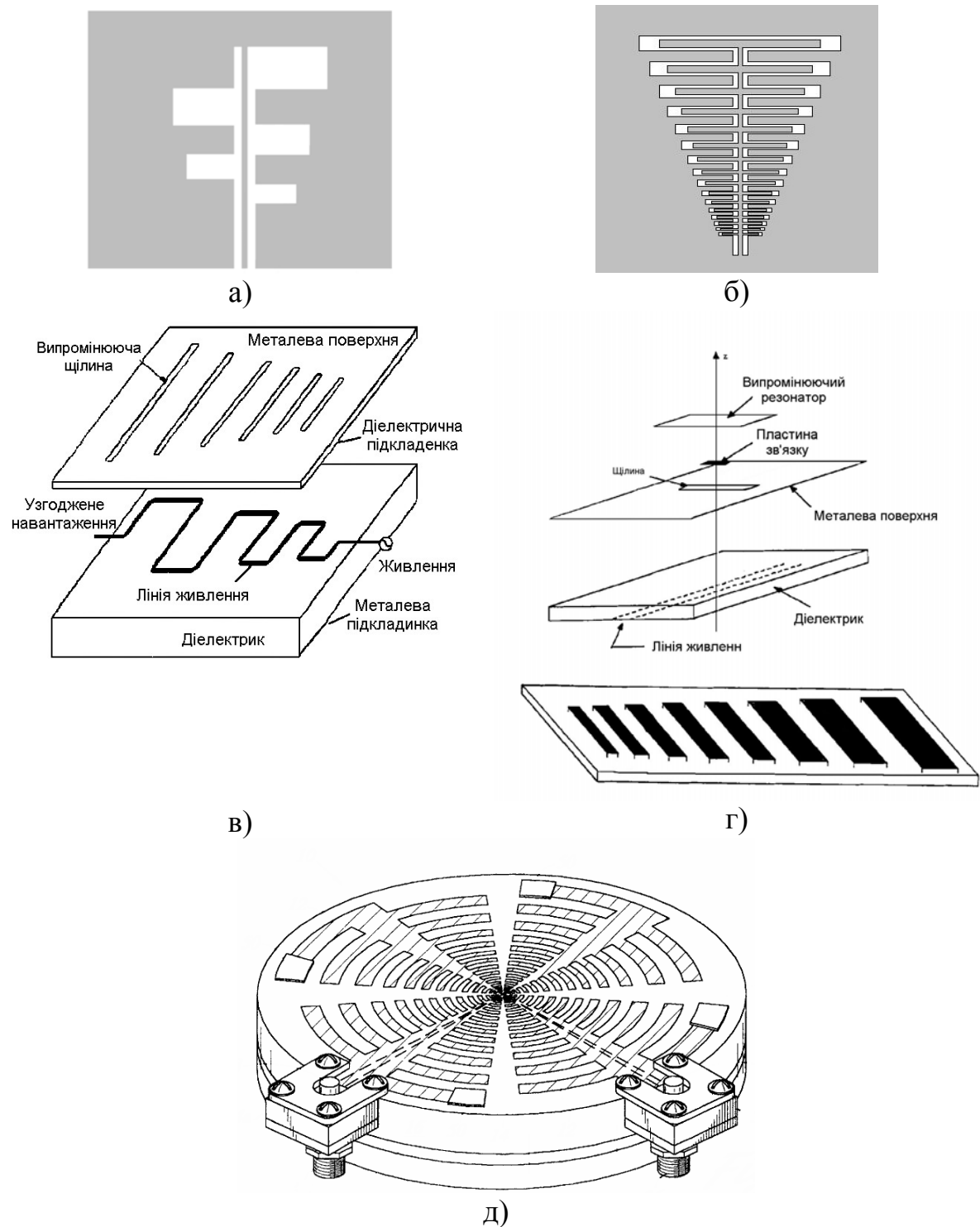


Рис. 2. Щилинні антени

а - щилинна логоперіодична антена; б - петлева щилинна антена; в - логоперіодична щилинна антенна з мікстрострічковим живленням; г - логоперіодична антена з резонаторними пластинами; д - логоперіодична антенна решітка, що працює в багатомодовому режимі.

Бездисперсійною є найпростіша форма комплементарної антени – bow-tie антена (рис. 1в). Перше всебічне дослідження входного опору і ха-

рактистик випромінювання bow-tie антени було здійснено у 1952 році [23]. Досліджувався монополь із формою плеча у вигляді трикутника, призначений для роботи з гармонічними сигналами. За результатами параметричних досліджень вдалося встановити, що bow-tie антена забезпечує значно ширшу робочу смугу частот, ніж монополь циліндричної форми, але поступається у широкосмуговості конічному монополю. Крім того, bow-tie антена зберігає характеристики при відхиленні від комплементарної структури. Серед друкованих антен основними типами живлення є мікросмужкове [24 – 27] та за допомогою копланарного хвилеводу [28 – 31]. Максимально широка смуга частот у 60% для поздовжнього і 90% для всебічного випромінювання та низький рівень кросполяризаційного випромінювання були продемонстровані у [30, 31] та [25] відповідно. Класична форма bow-tie антени [24, 28 – 30] є все ще недостатньо широкосмуговою (робоча смуга частот не перевищує 90%), а тому цілком логічним є певна модернізація профілю такої антени. Так, форма антени у вигляді bow-tie антени із обрізаними кутами [25, 26] (рис.3а) дозволяє зменшити розміри антени, не погіршуючи при цьому суттєвим чином характеристики антени. Цікавою є спроба виконання bow-tie антени із ребрами, які профільовані за еліптичним законом - Lotus антена [31] (рис.3в). Така структура хоча і не дає вирашу у ширині смуги частот чи характеристик спрямованості антени у порівнянні із [30], але дозволяє зменшити вимоги до точності виконання антени. Використання дзвоникоподібного профілю і мікросмужкового живлення (рис.3б) дало змогу отримати перекриття по частоті 3.9:1 [27, 32]. На увагу заслуговує також структура, яка представляє собою обернену bow-tie антену із довжиною сторони в місці підключення живлення у чверть довжини хвилі на середній частоті робочого діапазону [33, 34] – Diamond antenna (рис.3г). Така структура забезпечує ширину смуги частот у 75% (при КСВН < 3), однак має суттєвий недолік - ускладнює можливість живлення за допомогою мікросмужкового чи копланарного фідера.

Слід відмітити, що широкосмуговість антен лише за вхідним опором більша ніж із врахуванням діаграм спрямованості, що видно з [25, 26]. Погіршення діаграм спрямованості, особливо у випадку всебічного випромінювання, очевидно, зумовлено впливом лінії живлення, яка знаходиться в одній площині з антеною. У випадку поздовжнього випромінювання вплив лінії живлення не є значним, оскільки екраном служить зворотня металізація мікросмужкової лінії живлення. Для антен [24 – 31, 35] характерним є той факт, що антена та узгоджувальний пристрій представляють собою єдину конструкцію і розробка та оптимізація узгоджувального пристрою є чи не більш складною процедурою ніж розробка форми антени. У разі використання копланарного живлення для переходу від мікросмужкової лінії живлення в багатьох випадках [30, 31] використовується широкосмуговий трансформатор, що містить фазозсувач на 180°. Живлення за допомогою

електромагнітного зв'язку між випромінюючим елементом і лінією живлення не дозволяє отримати широку робочу смугу частот [35].

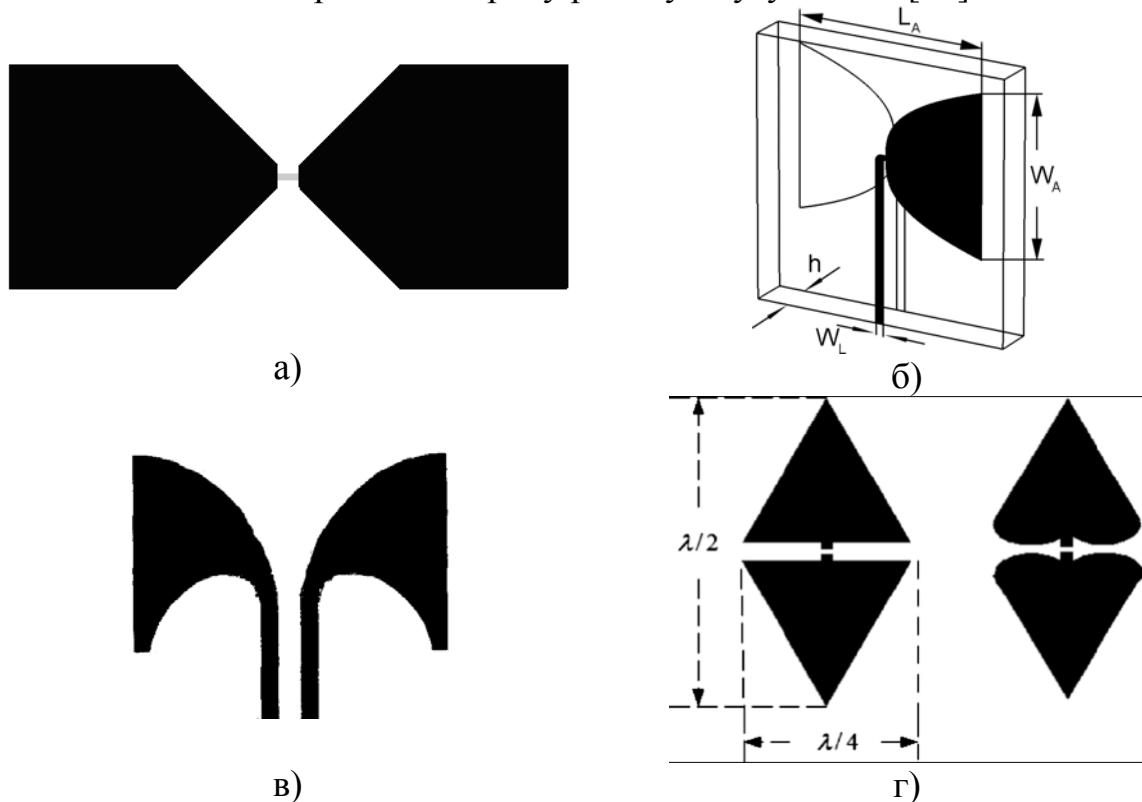


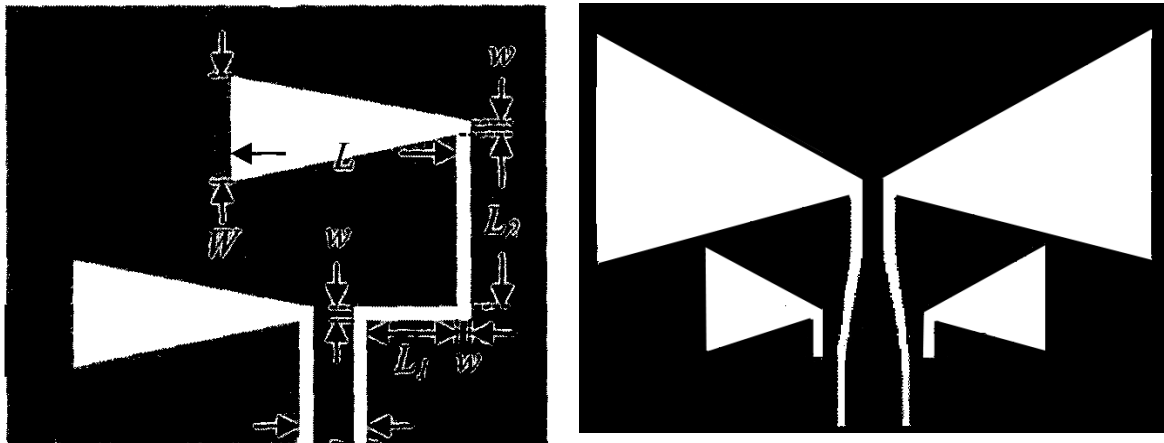
Рис.3. Варіанти побудови антени типу «метелик»: а - bow-tie із обрізаними кутами; б - дзвоникоподібна антена; в - Lotus антена; г - Diamond antenna

Форма антени, подібна до bow-tie антени, є також популярною і у випадку щілинної антени, забезпечуючи робочу смугу частот від 40% до 123% [36] – [39]. При цьому використовуються наступні способи розширення робочої смуги частоти:

- додавання фазозсувача на 180° до одного із плечей щілинної антени із одночасним поворотом цього плеча антени на 180° (рис.4, а). Крім розширення смуги частот у порівнянні із звичайною щілинною bow-tie антеною [36] вдається зменшити геометричні розміри антени;
- використання асиметричної структури у поєднанні із індуктивним навантаженням у вигляді зв'язаних із основною лінією передачі щілин [38], що забезпечує найбільшу робочу смугу (рис. 4б).

Так само різноманітною є форма широкосмугових монополів: прямокутні (рис. 5а) та трапецієподібні [40, 41], круглі, еліптичні та у вигляді дисків із обрізаним верхом [41 – 43], а також форми PICA (*Planar Inverted Cone Antenna*) [44, 45]. Найменше перекриття по частоті (в середньому не більше 3) забезпечують монополі прямокутної форми, найбільше (більше ніж 10:1) – монополі еліптичної та складної (PICA антена (рис. 5б)) фор-

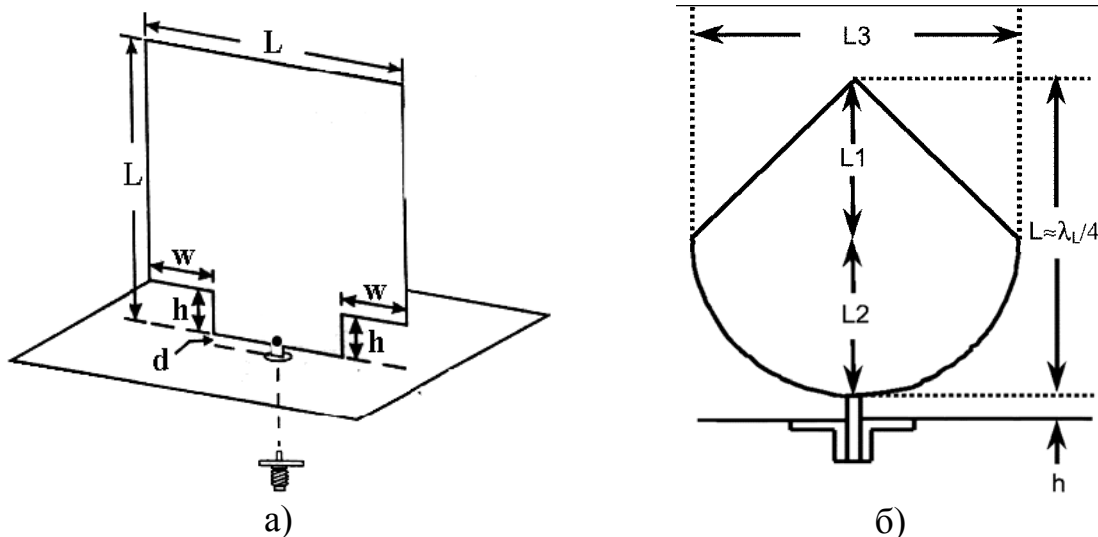
ми. Таке велике перекриття по частоті пояснюється низькою вимогою до стабільності діаграм спрямованості монополя у межах робочої смуги частот. Так у [44] зафіксовано, що при частотному перекритті по вхідному опору у 10:1, перекриття із врахуванням характеристик діаграм спрямованості становить лише 4:1 та 7:1 для простої й ускладненої структури антени відповідно. На основі аналізу монополів можна зробити загальний висновок: додавання кривизни у місці живлення антени забезпечує розширення робочої смуги частот завдяки збільшенню верхньої робочої частоти; розміщення щілин уздовж бічної поверхні антени та зменшення ширини у напрямку кінця антени дозволяє зменшити нижню робочу частоту.



а)

б)

Рис.4. Широкопasmові щілинні антени:

а - з фазозсувачем на 180° ; б - з індуктивним навантаженням.

а)

б)

Рис.5. Варіанти широкопasmових монополів:

а - прямокутний з узгоджувачами щілинами; б - РІСА

Розширення робочої смуги частот антени може бути досягнуто за допомогою оптимізації простої форми (наприклад, прямокутної) за допомогою генетичного алгоритму [46, 47], який базується на методах природної

селекції і еволюції та дозволяє проводити оптимізацію за багатьма параметрами для відшукування глобального екстремуму. Форми антен, що отримуються в результаті застосування генетичних алгоритмів, не можуть бути отримані за допомогою класичних електродинамічних методів синтезу і оптимізації. Так, на рис.6 представлено антени, які є результатом оптимізації прямокутного монополю і які забезпечують перекриття по частоті більше 5:1. Єдиним суттєвим недоліком генетичного алгоритму є його повільна збіжність.

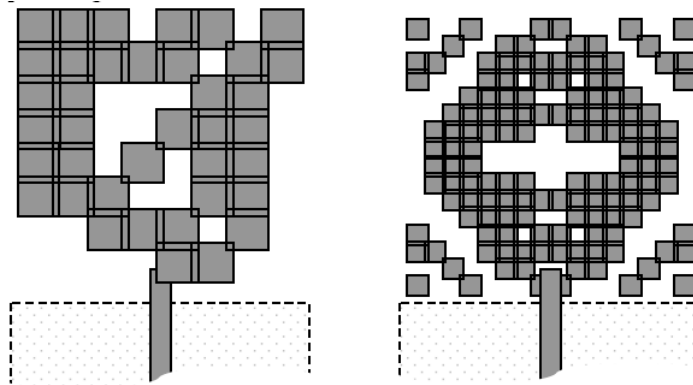


Рис.6. Форма антени, отримана в результаті оптимізації прямокутного монополя за допомогою генетичного алгоритму.

Антени для GPR

Окремо слід виділити категорію антен, які призначені для роботи в ультраширокопasmових GPR-радарх. Такі радари працюють із сигналами, тривалість яких не перевищує одиниць наносекунд, отже вимагають застосування антен із шириною смуги частот більшою за 100%. Крім того, до антен цього класу пред'являється додаткова вимога – з метою унеможливлення маскуванню неоднорідностей необхідним є зменшення внутрішнього відбиття в самій антені. Очевидним є, що звичайний диполь не задовольняє цим вимогам [48]. З метою розширення робочої смуги частот дипольної антени було винайдено багато методів: використання резистивного навантаження шляхом неперервної зміни провідності уздовж антени [48] та створення ступінчатого розподілу провідності уздовж антени за допомогою зосереджених резисторів [49], які, однак, мають низьку ефективність випромінювання (не більше 60%). Ефективність випромінювання, близьку до 100%, вдалося досягти при використанні розподіленого ємнісного навантаження [48], однак недоліком такої антени є складність реалізації розподіленого ємнісного навантаження. Цього вдалося уникнути при застосуванні ємнісного та комбінованого резистивно-ємнісного навантаження у bow-tie антені [50 – 53] із різними профілями: лінійним (рис.7) [50, 52, 53] та постійним [51, 52]. Ємнісне навантаження реалізується шляхом витравлювання щілин у друкованій bow-tie антені; в результаті енергія, яка рані-

ше відбивалася від кінця антени, розподіляється у щілинах. Це дозволяє при використанні дешевих поглинаючих матеріалів доводити рівень реверберації в антені до -40 дБ [52], зменшуючи при цьому рівень максимуму випромінюваного сигналу лише на 12% у порівнянні із чисто ємнісним навантаженням, що все ще на 54% більше, ніж у такій антені без будь-якого навантаження. Крім того, за допомогою використання поглинаючих матеріалів створюється одностороннє випромінювання без використання металевого рефлектора. Такі антени у деяких випадках [51] дають більш чіткий відбитий сигнал, ніж широко використовувані у GPR-радарх ТЕМ-рупори, і можуть бути легко оптимізовані для конкретного імпульсу шляхом підбору довжини антени, параметрів ємнісного навантаження та відстані до першої щілини.

Двополяризаційні антени

У теперішній час стрімко зростає кількість інформації, яку треба передавати, і це призводить до виникнення дефіциту частотного ресурсу, що стає все дорожчим. Вирішення цієї проблеми здійснюється трьома шляхами: освоєння нових високочастотних і, відповідно, більш інформаційно ємних діапазонів частот; використання нових сучасних методів модуляції, що дозволяють значно звужити необхідну смугу робочих частот; створення антенних систем, які забезпечують: просторове рознесення каналів передачі інформації; поляризаційне рознесення каналів по ортогональних поляризаціях з однаковими частотними та просторовими характеристиками, що дає двократний виграш по смузі частот.

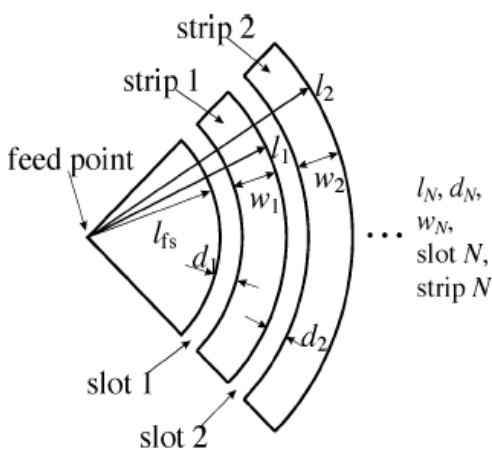


Рис.7. Bow-tie із ємнісним навантаженням

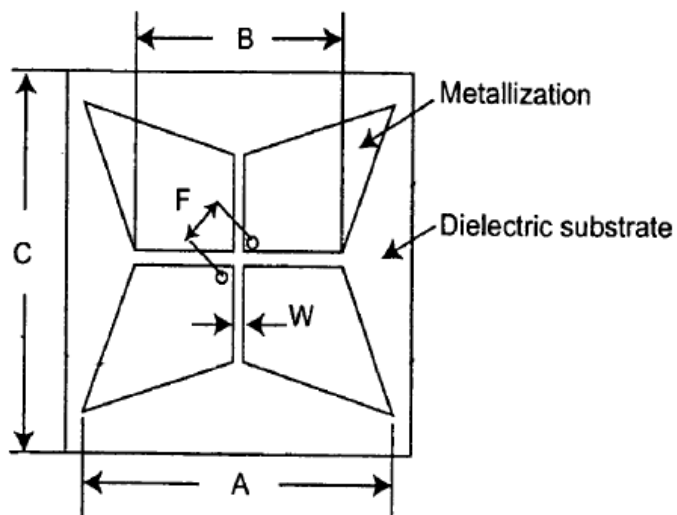


Рис.8. Foursquare antenna (із обрізаними кутами)

Виходячи з того, що при використанні двох поляризацій можливим є отримання більшого об'єму інформації про об'єкт дослідження або передавання вдвічі більшого об'єму інформації, інтерес до таких антен завжди високий. В останній час значна увага приділяється широкосмуговим дво-

поляризаційним антенам [54 – 57] з метою використання їх у радарях різного призначення. Базовою конструкцією в цьому випадку можна вважати так звану *foursquare antenna* [54], яка представляє собою конструктивно сумісно оформлену конструкцію із 4 прямокутних випромінювачів, розміщених по азимуту. Розвитком цієї конструкції є представлена у [55] *foursquare antenna* із обрізаними краями (рис. 8) та ширококутовий диполь із спеціальною формою та щілинами [56]. Всі ці конструкції розраховані на живлення за допомогою фідерних ліній.

Література

1. Schantz Hans Gregory. A Brief History of UWB Antennas // IEEE A&E Systems Magazine, April 2004.
2. Song C.T.P., Hall P.S., Ghafori-Shiraz H. Multiband Multiple Ring Monopole Antennas // IEEE Transactions on Antenna and Propagation.- 2003.- Vol. 51, № 4.- P.722-729.
3. Puente-Baliarda C., Romeu J., Pous R., Cardama A. On the behavior of the Sierpinski multiband fractal antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation.-1998.- Vol. 46, № 4.- P.517-523.
4. Baliarda C.P., Borau C.B, Rodero M.N., Robert J.R. An Iterative Model for Fractal Antennas: Application to the Sierpinski Gasket Antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation.- 2000.- Vol. 48, № 5.- P. 713-718.
5. Romeu J., Soler J. Generalized Sierpinski Fractal Multiband Antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation.- 2001.- Vol.49, № 8.- P. 1237-1239.
6. Rumsey V.H. Frequency-Independent antennas. // 1957 IRE Nat. Conv. Rec., pt.1, P. 114-118.
7. Mushiake Ya. Self-Complementary Antennas // IEEE Antennas and Propagation Magazine.-1992.- Vol. 34, № 6.- P.23-29.
8. Mushiake Ya. Self-Complementary Antenna Composed of Unipole and Notch Antennas // IEEE Antennas and Propagation Magazine.-1992.- Vol. 34, № 6.- P.23-29.
9. Mushiake Ya. A Report on Japanese Developments of Antennas from Yagi-Uda Antenna to Self-Complementary Antennas // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2004. – Vol. 46, №4, P. 47-60.
10. DuHamel R.H., Isbell D.E. Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structures // 1957 IRE National Convention Record.- 1957.- pt.1.- P.119 – 128.
11. Isbell D.E. Log Periodic Dipole Arrays // IRE Transactions on Antennas and Propagation.-1960.- AP-8, № 3.- P. 260 – 267.
12. Carrel R.L. The Design of Log-Periodic Dipole Antennas // 1961 IRE National Convention Record.- 1961.- Vol.1.- P.61 – 75.
13. Bhobe A.U., Holloway C.L., Piket-May M., Hall R. Wide-Band Slot Antennas With CPW Feed Lines: Hybrid and Log-Periodic Designs // IEEE Transactions on Antennas and Propagation.- 2004.- Vol.52, № 10.- P. 2545-2554.
14. Nurnberger M.W., Volakis J.L., Mosko J.A., Ozdemir T. Analysis of the Log-Periodic Folded Slot Array // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1994.
15. Del Rio D. Characterization of Log Periodic Folded Slot Antenna Array // Masters of Science thesis.- Electrical Engineering University of Puerto Rico.- 2005.- 161c.

16. McKinzie W.E., Moncada J.J., Anderson T.L. A Microstrip-Fed Log-Periodic Slot Array // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1994.
17. Smith H.K., Mayes P.E. Log-Periodic Array of Dual-Feed Microstrip Patch Antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation.- 1991.- Vol.39, № 12.- P. 1659-1664.
18. Smith H.K., Mayes P.E. Log-Periodic Array of Dual-Mode Patch Elements // 1988 IEEE AP-S International Symposium Volume I.
19. Пат. 5164738 США, МКИ H01Q 11/10. Wideband Dual-Polarized Multi-Mode Antenna: Пат. 5164738 США, МКИ H01Q 11/10. Walter et al.; № 602581; Заявл. 24.10.1990; Опубл. 17.11.1992; НКИ 343/789; 343/792.5.-13с.
20. Hofer D.A., Kesler O.B., Loyer L.L. A Compact Multi-Polarized Broadband Antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation- 1990.
21. Karr B.A., Durham T.E. et al. Investigation of a Broad-Band Cavity-Backed Array Antenna // IEEE Transactions on Antenna and Propagation.- 2004.- Vol. 52, № 7.- P.1913-1916.
22. Yazdandoost Kamya Yekeh, Kohno Ryuji. Ultra Wideband Antenna // IEEE Radio Communications, June 2004, P. 529 – 532.
23. Brown G. H., Woodward O. M. Experimentally determined radiation characteristics of conical and triangular antennas // RCA Review. – 1952. – Vol. 13. – P. 425-452.
24. A broad band printed bow-tie antenna with a simplified feed. Guiping Zheng, Ahmed A. Kishk, Alexander B. Yakovlev, Allen W. Glisson. // Antennas and Propagation Society International Symposium 2004, P.4024 – 4027.
25. Double-Sided Printed Bow-Tie Antenna for UWB Communications. Katsuki Kiminami, Akimasa Hirata, Toshiyuki Shiozawa // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2004. – Vol.3. – P.152 – 153.
26. A microstrip-fed modified printed bow-tie antenna for simultaneous operation in the C and X-bands. Eldek, A.A. Elsherbeni, A.Z. Smith, C.E. // IEEE International Radar Conference, 2005.
27. A bell-shaped planar dipole antenna. Dubrovka F.F., Vasylenko D.O. // Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 18-22 September, 2006, Sevastopol, Ukraine.
28. Bow-tie antenna for UWB communication frequency. Yazdandoost K.Y., Kohno R. // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004, Vol.3, P. 2520 – 2523.
29. Patent US 2005146480 “Ultra wideband bow-tie printed antenna”
30. Wideband microstrip-fed printed bow-tie antenna for phased-array systems. Abdelnasser A. Eldek, Atef Z. Elsherbeni, Charles E. Smith // Microwave and Optical Technology Letters. – 2004. – Vol. 43. – No.2. – P. 132 – 126.
31. Microstrip-Fed Printed Lotus Antenna For Wideband Wireless Communication Systems. Abdelnasser A. Eldek, Afef Z. Elsherbeni, Charles E. Smith. // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2004. – Vol. 46. – No. 6. – P.164 – 173.
32. Влияние формы плоского широкополосного вибратора на его характеристика согласования и излучения. Дубровка Ф.Ф., Василенко Д.А. // 16th Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2006). 11 - 15 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine.
33. Guofeng Lu et al. Diamond and Rounded Diamond Antennas for Ultrawide-Band Communications // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2004. – Vol.3, P.249 - 252.

34. Schantz, H.G. Fullerton, L. The diamond dipole: a Gaussian impulse antenna // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, P.100 – 103, vol.4, 2001.
35. Printed bow-tie antenna fed by electromagnetic coupling. L. Le Coq', S. Von der Mark, M. Drissi and J. Citerne. // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. – 1999. – Vol. 4, P. 2710 – 2713.
36. Wideband slot bow-tie antennas for radar applications. Eldek, A.A. Elsherbeni, A.Z. Smith, C.E. // IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology, P. 445 - 446, Oct 2003.
37. A modified bow-tie slot antenna fed by a coplanar waveguide. Shih-Yuan Chen, Powen Hsu // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. – 2004. – Vol.1, P. 799 – 802.
38. A modified bow-tie slot antenna fed by a CPW-to-CPW transition loaded with inductively coupled slots for ultra wide-band applications. Angelopoulos, E.S. Anastopoulos, A.Z. Githonas, C.E. // IEEE International Workshop on Small Antennas and Novel Metamaterials 2005. – P. 513 – 516.
39. Patent US 2005/0184919 A1 "Ultra wideband bow-tie slot antenna"
40. Evans, J.A., Amunann M.J. Planar trapezoidal and pentagonal monopoles with impedance bandwidths in excess of 10:1 // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, P.1558 – 1561, vol.3, 1999.
41. Narayan Prasad Agrawal, Girish Kumar, K. P. Ray. Wide-Band Planar Monopole Antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1998. – Vol.46. - №2. – P. 294-295.
42. Taeyoung Yang et al. Compact Antennas for UWB Applications // IEEE A&E Systems Magazine, MAY 2004, P. 16-20
43. Peyrot-Solis, M.A. Galvan-Tejada, G.M. Jardon-Aguilar, H. State of the Art in Ultra-Wideband Antennas // 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 2005, P. 101 – 105.
44. Seong-Youp Suh, Warren L. Stutzman, William A. Davis. A New Ultrawideband Printed Monopole Antenna: The Planar Inverted Cone Antenna (PICA) // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2004. – Vol. 52. - №5. – P. 1361 – 1365.
45. Patent US 20050062670. Planar wideband antenna.
46. Design and Analysis of Planar Monopole Antennas Using a Genetic Algorithm Approach. Aaron J. Kerkhoff, Robert L. Rogers, Hao Ling // IEEE Transactions on Antennas and propagation. – 2004. - vol. 52. – No. 10. – P. 2709 – 2718.
47. Optimisation of a wide-band printed monopole antenna using a genetic algorithm. M. John, M.J. Ammann // Loughborough Antennas and Propagation Conference, 2006, P. 237 – 240.
48. Montoya T. P., G. S. Smith. A study of pulse radiation from several broad-band loaded monopoles // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1996. – Vol. 44, №8. – P.1172–1182.
49. Loaded wedge bow-tie antenna using linear profile. C. Waldschmidt and K.D. Palmer // Electronics letters. – 2001. – Vol. 37. – No. 4. – P.208 – 209.
50. Capacitively-tapered bow-tie antenna. A.A. Lestari, A.G. Yarovoy, L.P. Ligthart // Proceedings. of the AP2000 Conference, Davos, Switzerland, 9-14. April, 2000.
51. Использование модифицированной дипольной антенны в под поверхностных радарх со ступенчатой перестройкой частоты. Максимович Е. С., Михеев В.А., Вайникайнен П. // 14th Crimean Conference "Microwave &

- Telecommunication Technology" (CriMiCo'2004). 13 - 17 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine, P.331 – 333.
52. RC-loaded bow-tie antenna for improved pulse radiation. Andrian Andaya Lestari, Alexander G. Yarovoy, Leo P. Ligthart. // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2004. – Vol.52. - №10. – P. 2555-2563.
 53. Analysis and Design of Improved Antennas for GPR. Andrian Andaya Lestari, Alexander G. Yarovoy, Leo P. Ligthart // Subsurface Sensing Technologies and Applications. – 2002. – Vol.3. – No.4. P. 295 - 326
 54. Patent US 5926137. Foursquare antenna radiating element, 1999.
 55. Patent US 6057802. Trimmed foursquare antenna radiating element, 2000.
 56. Perruisseau-Carrier, J. Hee, T.W. Hall, P.S. Dual-polarized broadband dipole // Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2003. – Vol.2, Issue:1. - P.310 – 312.
 57. Wide-Band Modified Printed Bow-Tie Antenna With Single and Dual Polarization for C– and X-Band Applications. Abdelnasser A. Eldek, Atef Z. Elsherbeni, Charles E. Smith // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2005. – vol. 53. – No. 9. – P. 3067 – 3072.

Дубровка Ф.Ф., Василенко Д.О., Овсяник Ю.А. Приведен обзор современных ультраширокополосных планарных антенн. Главное внимание сосредоточено на логопериодических антеннах, широкополосных диполях и монополях.	Dubrovka F.F., Vasylenko D.O., Ovsianyk Iu.A. The paper gives a review of planar wideband antennas for different applications. Main attention is paid to log-periodic antennas, wideband dipoles and monopoles.
---	---

Надійшла до редакції 15 вересня 2006 року