

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕЛЕКТРОДИНАМИЧНИ
ПАРАМЕТРИ НА ПЛАНАРНИ СЪСТАВНИ СТРУКТУРИ****ELECTROMAGNETIC PARAMETERS EXPERIMENTAL
DETERMINATION OF PLANAR COMPOSITE STRUCTURES****Kliment Angelov¹**¹*Technical University of Sofia***Hristo Gelov²**²*Sofia University „St. Kliment Ohridski“***Sofia Anguelova³**³*Technical University of Sofia***Yulia Vasenda⁴**⁴*Technical University of Sofia***Abstract**

Nowadays communications are ubiquitous and data transfer solutions are being sought in every aspect. Electromagnetic waves, as a carrier of information, are widely used to transmit data wirelessly, using different types of antenna systems. Sometimes antennas are integrated into different structures so that they can be implemented as objects for other purposes. In such an approach, it is necessary to know the parameters of similar type of structure from an electrodynamic point of view. This article describes the determination of the parameters of composite planar antenna structures incorporating some materials used in advertising and graphic design.

Keywords: Electromagnetic Parameters; Planar Antennas; Advertising; Design .

ВЪВЕДЕНИЕ

Безжичните комуникации играят голяма роля в съвременните комуникации. Употребата на електромагнитни вълни (ЕМВ) като носител на информация е един от най-подходящите начини за предаване на данни, който обаче изисква употребата на антени. Поради крайния характер на радиочестотния ресурс [1] се налага тенденцията за използване на различни решения за постигане на разширяване на обхвата на покритие със радиосигнали [2]. Развиват се различни технологии, които използват комуникациите чрез ЕМВ, които работят с различни по покритие области, скорости на предаване и качество на услугата. В този ред на мисли могат да се изброят глобалните системи от различните поколения 2G, 3G, 4G, 5G, включващи GSM, UMTS, LTE, WiFi, WiMax, Bluetooth, LoRa, NFC и т.н.

Към антените за осъществяване на комуникация чрез изброените по-горе технологии се поставят редица изисквания.

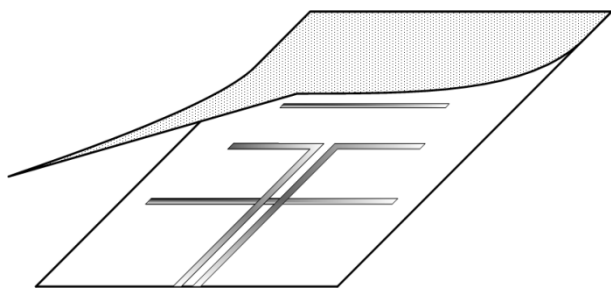
Освен оптималните им показатели от електродинамична гледна точка се търсят и други, като: технологични, свързани с тяхното производство; експлоатационни, които характеризират тяхната работа по време на използването им в различни условия, икономически свързани с доброто им реализиране на пазара, и др. Не на последно място може да се спомене и аспектите, свързани със човешкото визуално възприятие, като в зависимост от конкретното приложение, антените, както и всеки друг продукт, е желателно да имат приятен външен вид. Възможно е и комбинирането на основната функция на антената с вторична, свързана с използването на потенциални площи от антенната система за рекламна и/или графично-дизайнерска дейност [3]. Особено интересна става възможността за реализиране на подобен тип антени за мобилни приложения, които да се използват от потребителите като персонални изделия за краткосрочно

изграждащи се мрежи и/или като средство за подобряване на комуникационната възможност в дадени случаи.

В настоящата статия е разгледан процесът на определяне на някои електродинамични параметри на съставни структури, от които могат да се реализират планарни антенни системи за вграждане в обекти от областта на рекламата и графичния дизайн.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За да има възможност за осъществяване на дизайнерска и рекламна дейност, антената следва да се реализира като планарна структура, като технологично това може да се направи чрез вграждане на токопроводящ слой (фолио) в структура, реализирана от слоеве хартия. Това ще разшири обхвата за дизайн върху визуалният изглед на антената чрез възможността за използване на различни видове стандартен печат върху хартиените листа. Възможно е и подобна структура да се защити и уякчи чрез конвенционално ламиниране с полимерни фолиа. Подобен тип на реализация е илюстрирана съвсем схематично на фиг. 1.

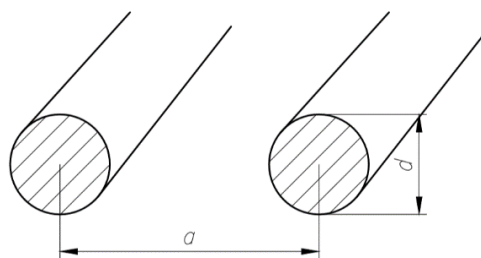


Фиг. 1. Схематично представяне на планарна антенна система, вградена в обект за рекламна и/или графично-дизайнерска дейност

Структура, подобна на тази, показана на фиг. 1 би имала неизяснени електродинамични параметри поради следните два факта: антенната система следва да се реализира като планарна с токопроводящи елементи, чийто размер е клонящ към нула; не е известно еквивалентното влияние на съставната структура, включваща многослоен диелектрик с неизвестна диелектрична проникваемост, коефициент на скъсяване и т.н. Непознаването на тези параметри на

съставната структура създава проблем при синтеза и симулационния анализ на подобен тип антени с помощта на по-прости програмни средства. Необходимо е да се определи поведението на този тип решение за реализация чрез експериментални измервания.

За тази цел може да се предположи, че се разглежда двупроводна линия, чието напречно сечение се определя чрез двата диаметъра d на проводниците и разстояние между центровете им a , както е отразено на фиг. 2.



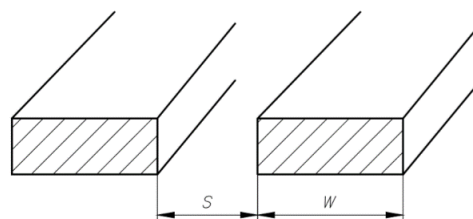
Фиг. 2. Двупроводна линия

От теоретична гледна точка характеристикният импеданс на такава линия може да се определи със зависимостта [4]:

$$Z_c = \frac{276}{\sqrt{\epsilon_r}} \lg \frac{2a}{d}, \quad (1)$$

където ϵ_r е еквивалентната диелектрична проникваемост на средата, запълваща обема между двата проводника.

Разгледаната линия трябва да бъде еквивалентно преобразувана в двупроводна планарна структура със ширина на проводящите линии w и разстояние между вътрешните им ръбове s , както е отразено на фиг. 3.



Фиг. 3. Планарна двупроводна линия

Като се вземе предвид, че съгласно предлаганата технология дебелината на

проводящите елементи е изключително малка и може да се пренебрегне, то характеристичният импеданс на подобна планарна линия ще зависи само от размерите w и s . При това междуосевото разстояние между проводниците с кръгло сечение d е необходимо да е същото, както между геометричните центрове на плоските проводникови елементи, което от своя страна теоретично може да се определи с израза:

$$a = \frac{w}{2} + s + \frac{w}{2} = w + s. \quad (2)$$

Ако експериментално се определи характеристичният импеданс на планарната линия, то може според посочената по-горе аналогия да се изчисли еквивалентния диаметър на проводящи елементи, дефиниращи същия характеристичен импеданс.

Експерименталното определяне на характеристичния импеданс на планарната двупроводна линия може да се осъществи чрез измерване на входния импеданс на макетна линия с известни размери, която е дадена накъсо в края. Ако се измери честотата f_0 , за която входният импеданс се нулира, то може да се определи и коефициента на скъсяване на вълната, изразен като отношение на дължината на вълната в свободното пространство за същата честота λ_0 към дължината на вълната в разглежданата линия λ :

$$k = \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda \cdot f_0}{c}, \quad (3)$$

където c е скоростта на светлината във вакуум. Дължината на вълната в разглежданата линия λ се явява два пъти дължината на линията l поради това, че се разглежда линия дадена накъсо с нулев входен импеданс, т.е.:

$$\lambda = 2 \cdot l. \quad (4)$$

От определения вече коефициент на скъсяване може да се определи еквивалентната диелектрична проницаемост на средата между двата проводящи елемента съгласно формулата:

$$\varepsilon_{req} = \frac{1}{k^2}. \quad (5)$$

От теорията е известно, че входният импеданс на предавателна линия, дадена накъсо в края, се изменя съгласно зависимостта [4]:

$$Z_{in} = jZ_c \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right). \quad (6)$$

Ако се измери честотата f , за която входният импеданс на изследваната планарна линия става точно определена относително произволно избрана стойност Z_{in} и се отчете определения вече по (3) коефициент на скъсяване и факта, че предавателна линия, дадена накъсо, с достатъчна за практическото измерване точност, има чисто реактивен входен импеданс, то може да се определи нейният характеристичен импеданс както следва:

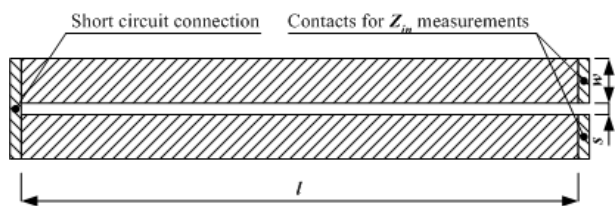
$$Z_c = \frac{Z_{in}}{\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} = \frac{Z_{in}}{\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi l f}{ck}\right)}. \quad (7)$$

С така получения характеристичен импеданс, използвайки (1) и (2) може да се определи и самият еквивалентен диаметър на обемната структура d_{eq} , за който се получава:

$$d_{eq} = \frac{2a}{10^{\left(\frac{Z_c \sqrt{\varepsilon_r}}{276}\right)}} = \frac{2(w+s)}{10^{\left(\frac{Z_c}{276k}\right)}}. \quad (8)$$

Въз основа на така описаната идея са проведени няколко експериментални измервания, с цел определянето на параметрите на двупроводна линия с плоски тоководящи проводници, направени по описаната технология за реализиране на антенни системи върху обекти от сферата на рекламата и дизайна. Създадени са различни планарни структури, състоящи се от електропроводящ слой между два пласта от конвенционална хартия с плътност от $\sim 80 \text{g/m}^2$, като в структурата се включва и слой от лепило, предназначен да държи слоевете заедно. Общ изглед на дадените на късо планарни двупроводни линии е показан на фиг. 4, като техният входен импеданс в точките за присъединяване се

измерва с помощта на векторен анализатор (Vector Analyser – VNA).



Фиг. 4. Общ изглед на планарните двупроводни линии за осъществяване на експерименталните измервания

Направени са измервания на пет прототипни двупроводни линии с еднаква дължина от $l = 100 \text{ mm}$. Размерите на напречното сечение на линията s и w са поместени в табл. 1. Във същата таблица са видни и резултатите за резонансната честота f_0 , както и честотите f_+ и f_- , отговарящи съответно на фиксиран импеданс $Z_{in} = \pm 25 \Omega$. Стойностите за k , d_{eq} и a са получени съответно съгласно формули (3), (8) и (2), а за Z_0 е взета средната стойност на получените по (7) за честотите f_+ и f_- .

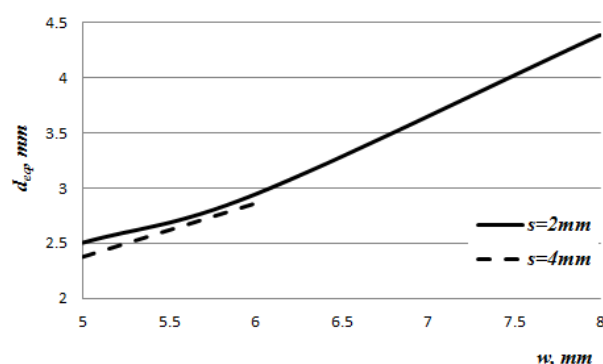
Таблица №1 Тестови данни

w , mm	5	5	6	6	8
s , mm	2	4	2	4	2
l , mm	100	100	100	100	100
a , mm	7	9	8	10	10
f_0 , GHz	1,2625	1,2598	1,2425	1,2628	1,2235
k , -	0,84	0,84	0,83	0,84	0,82
f_- , GHz	1,1975	1,2042	1,1775	1,2048	1,1515
f_+ , GHz	1,3140	1,3035	1,2955	1,3082	1,2828
Z_0 , Ω	173,61	203,83	168,09	196,23	148,30
d_{eq} , mm	2,51	2,38	2,94	2,86	4,39

Забелязва се че вариацията за стойностите на коефициента на скъсяване е от порядъка на 1,4%, което означава, че експериментът дава устойчиви резултати. В такъв случай за стойност на коефициента на скъсяване на структура, изградена по технологията, описана по-горе, включваща алуминиеви тоководящи елементи от фолио, вградени между листове хартия,

може да се вземе осреднената от петте измервания стойност $k = 0,84$. Това съответно отговаря, съгласно (5) на еквивалентна диелектрична проницаемост $\epsilon_{r_eq} = 1,44$.

На фиг. 5 е показана зависимостта на еквивалентния диаметър d_{eq} от ширината на тоководящия елемент на линията. Забелязва се, че той зависи относително слабо от разстоянието между двата проводника на двупроводната линия, което дава възможността това влияние да бъде пренебрегнато в последствие при преобразуването на обемна в планарна структура.



Фиг. 5. Зависимост на еквивалентния диаметър от размерите на планарната двупроводна линия

От направените изчисления става ясно, че еквивалентният диаметър на хипотетична обемна структура отговаря приблизително на два до два и половина пъти по-голяма ширина на същата планарна. Именно такива стойности за преобразуването на обемна в планарна структура биха могли да се използват при проектирането и симулационното изследване на антенни системи. Оптимизирането им може да се направи с по-прости програмни продукти, като MMANA-Gal [5], 4nec2 [6] и др., в които не могат да се задават лесно плоски структури и в последствие получените резултати да се преобразуват в планарна антенна система.

В случай, че се използват всеобхватни програмни продукти, като HFSS [7] и др., при симулацията отново е необходимо да се познаят електродинамичните свойства на елементите на изследваната антенна структура. В този смисъл резултатите от описаните по-горе експериментални

измервания биха залегнали при проектирането на планарни антенни системи за вграждане в обекти от сферата на рекламата и дизайна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на получените резултати могат да се направят следните изводи и заключения:

- Експерименталният метод за определяне на електродинамичните параметри на планарна структура за реализиране на антени, вградени в обекти от сферата на рекламата и дизайна, дава надеждни резултати;
- Реалният коефициент на преобразуване на обемна в планарна структура варира в диапазона $2 \div 2,5$;
- Еквивалентната диелектрична проницаемост на съставна структура, включваща алуминиево токопроводящо фолио между два пласта хартия с плътност 80 g/m^2 , както и лепило за задържане на слоевете, е 1,44, а коефициентът на скъсяване на ЕМВ е 0,84;
- Получените резултати за електродинамични параметри дават възможност да се проектират антенни системи, реализирани по описаната технология, използвайки редица програмни продукти;
- Целесъобразно е да се имплементират подобен тип антени, които да са с оптимизирани параметри, както и с подобрена визия, осъществена чрез подробни анализи от ергономична, естетическа, функционална и др. гледни точки от сферата на рекламата и графичния дизайн.

ПРИЗНАТЕЛНОСТ

Работата, описана в настоящата статия, е финансирана и извършена по договор № 191ИХТЪБ0004 / 2019 г. към научен проект „Планарни антени, вградени в рекламно-дизайнерски обекти,, реализиращ се по инициативата студентски иновационен хъб на Научно-Изследователския Сектор към Технически университет – София.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Национален план за разпределение на радиочестотния спектър на радиочестоти и радиочестотни ленти за граждански нужди, за нуждите на националната сигурност и отбраната, както и за съвместно ползване между тях, (Обн., ДВ, бр. 60 от 2004 г.; доп., бр. 69 от 2004 г.; изм. и доп., бр. 31 от 2005 г.; изм. и доп., бр. 16 от 2006 г.).
- [2] Актуализирана държавна политика по планиране и разпределение на радиочестотния спектър в република България, (Приета с Решение № 734 от 02.09.2016 г. на Министерски съвет на Република България, Обн. ДВ. бр. 71 от 13 Септември 2016 г.)
- [3] US 2005/057424 A1.
- [4] Додов Н., Антени и СВЧ устройства, София, Техника, 1998.
- [5] Goncharenko I. V., Antennas HF and VHF. Part 1. Computer modeling MMANA, 2004.
- [6] <https://www.qsl.net/4nec2/>
- [7] <https://www.ansys.com/Products/Electronics/ANSYS-HFSS>

¹ Климент Н. Ангелов, д-р инж., гл. ас., катедра РКВ, при ФТК, ТУ-София, kna@tu-sofia.bg.

² Христо Г. Гелов, инж., магистър с СУ „Св. Климент Охридски“, hristogelov@gmail.com.

³ София Н. Ангелова, д-р инж., гл. ас., катедра ИД, при МФ, ТУ-София, sna@tu-sofia.bg.

⁴ Юлия Ю. Васенда, студент в ТУ-София.