

## АНТЕНА ТИП ЛИСТ НА МЪОБИУС

### MÖBIUS STRIP SHAPED ANTENNA

**Kliment Angelov**

*Technical University of Sofia*

#### Abstract

*In this study a Möbius strip shaped antenna has been observed. An analytical base and number of simulations have been made in order to proof the concept of the possible practical application of antenna with this shaped element. Results from simulations, such as radiation pattern, matching etc. have been shown.*

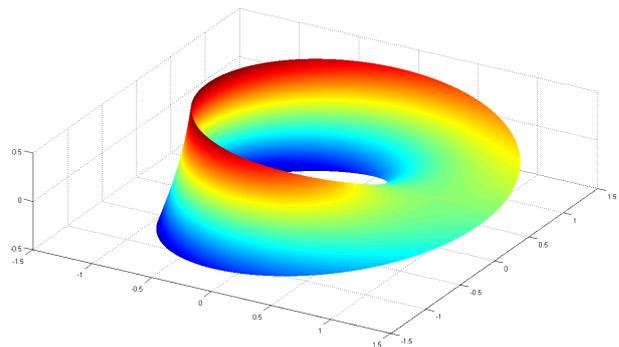
**Keywords:** Antenna, Möbius Strip, Antenna simulations, Antenna matching.

#### ВЪВЕДЕНИЕ

Инженерното проектиране на антени винаги е бил интересен и гравивен процес. В течение на времето на развитие на антенните технологии непрекъснато са се изпробвали както нови подходи при аналитичното изследване, така и неразглеждани до момента типове антени и антенни системи. Като пример в това отношение може да се даде т. нар. фрактални антени. От друга страна непрекъснатият „глад“ на постоянно развиващия се пазар на комуникационни решения води до нуждата от антени с по-специфични изисквания. От всичко това следва и неспиращото желание на антенните инженери да изследват нови и нови решения. Отлична възможност в това отношение им дават всички симулационни програмни среди, с които бързо, сравнително лесно и относително точно могат да се изпитат различни нови концепции.

В настоящата статия е разгледана възможността за реализиране на антенни системи с вградени в тях елементи, които да са оформени като лист на Мьобиус[1][2]. От геометрична гледна точка подобна форма има редица интересни свойства, като това, че тя има само един ръб и една повърхност, за която не могат да се дефинират посоките ляво и дясно. Също така тя не може да бъде описана в двумерното пространство без повърхнината и да се пресече сама себе си, въпреки, че по същество представлява

двумерна фигура. На фиг. 1 е показан общ вид на Лист на Мьобиус.



**Фиг. 1.** Лист на Мьобиус

В конкретния случай, разглеждан в настоящата статия, е изследван пространствен проводников антенен елемент с формата, описвана от ръба на листа на Мьобиус.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ

В триизмерното евклидово пространство представянето на листа на Мьобиус може лесно да се направи като се използва параметризиране. Ако се въведе ъглов параметър  $u$ , описващ завъртането в рамките на един оборот в равнината, в която лежи листа на Мьобиус и параметър  $v$ , който обхожда повърхнината от една точка на ръба до отсрещната ѝ, то отделните координати в декартова координатна система се получават според зависимостите [3]:

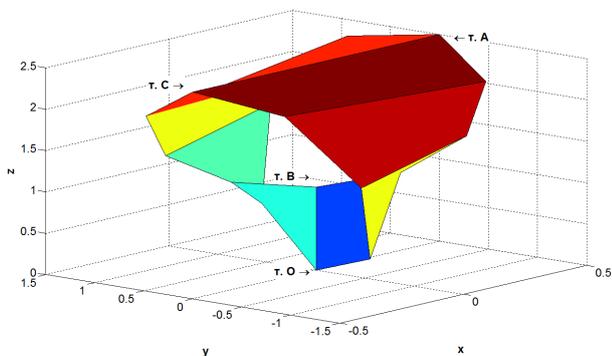
$$x(u, v) = \left(1 + \frac{v}{2} \cos \frac{u}{2}\right) \cos u; \quad (1)$$

$$y(u, v) = \left(1 + \frac{v}{2} \cos \frac{u}{2}\right) \sin u; \quad (2)$$

$$z(u, v) = \frac{v}{2} \sin \frac{u}{2}. \quad (3)$$

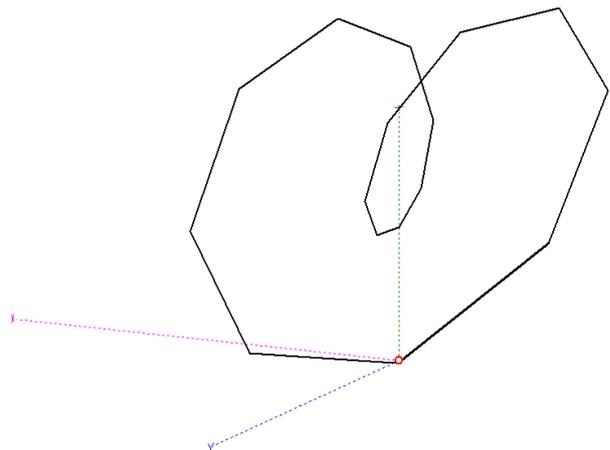
При задаване граници на изменение на параметрите съответно  $0 \leq u < 2\pi$  и  $-1 \leq v \leq 1$  се получава лист на Мьобиус (вж. фиг. 1) с ширина на лентата 1 и вътрешната централна окръжност в равнината  $xy$  с радиус 1 и център  $(0,0,0)$ .

От електродинамична гледна точка формата, която описва ръбът на така описания лист на Мьобиус представлява две навивки от индуктивен елемент. За настъпване на резонанс и съответно превръщане на подобна структура в антенна система, дължината му трябва да е от порядъка на дължината на работната вълна, а за симетриране на токовото разпределение точката на захранване трябва да е на място, което разделя контура на два симетрични клона. С цел опростяване на симулациите в настоящото изследване е прието този контур да се замести с краен брой линейни елементи. С помощта на програмната среда MatLab [4] са определени координатите на тези линейни елементи и е визуализиран случая ако те са шестнадесет на брой. Общият вид на целия лист на Мьобиус в този случай е показан на фиг. 2.



Фиг. 2. Лист на Мьобиус с контур, описан от 16 линейни елемента

На изображението от фиг. 2 са отбелязани някои отличителни точки по контура, като захранването на антената се извършва в т.О. На представянето от същата фигура също така е направена смяна на координатите и трансляция, така че захранващата т. О да е с координати  $(0,0,0)$ , а антената да е ориентирана перпендикулярно на равнината  $xy$  по посока на положителната посока на оста  $z$  и с основна равнина лежаща в равнината  $yz$ . Последните операции дават възможност антената да се симулира чрез програмния продукт MMANA-GAL [5]. На фиг. 3 е показан общият вид на контура, като размерите му са съобразени с работна дължина на вълната за честота от ISM обхвата 434 MHz. Така за общата дължина на контура е съблюдавана стойност 0,7 m, а за дебелина на отделните линейни елементи е зададена стойност 2 mm.



Фиг. 3. Антена за симулация чрез MMANA-GAL

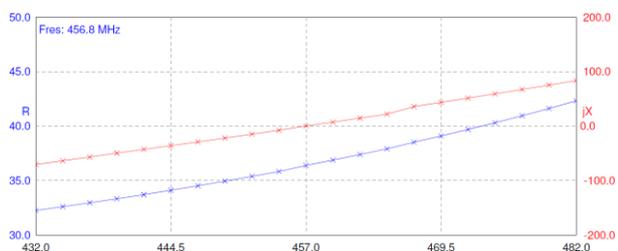
Въпреки че резултатите от симулационното изследване за зададената честота показват незадоволителен резултат, се наблюдава добри показатели при честота 457 MHz, като числени стойности за някои от параметрите на антената са поместени в таблица №1.

Таблица №1

	434 MHz	457 MHz
SWR, -	4,52	1,37
Gain, dBi	2,14	2,07
F/B, dB	-0,57	-0,62
Z, Ω	32,55 - j64,51	36,41 - j0,567

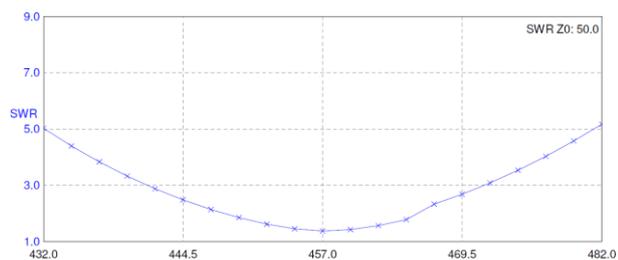
От направените симулации следва, че дължината на контура трябва да бъде увеличена с 6,6 % спрямо първоначално заложената, равна на една дължина на работната вълна. Това обуславя разделяне на малката навивка на контура (вж. фиг. 2, участък ABC) с дължина  $0,363\lambda$  и с дължината на голямата навивка (сумарният участък през точката на захранване АОС)  $0,704\lambda$ . Ширината на листа на Мьобиус (разстоянието ОВ) е със стойност  $0,055\lambda$ .

На фиг. 4 е показано поведението на импеданса на антената в рамките на честотна лента от 50 MHz около резонансната честота, а на фиг. 5 – съгласуването, отразено чрез коефициента на стояща вълна.



Фиг. 4. Входен импеданс на антената

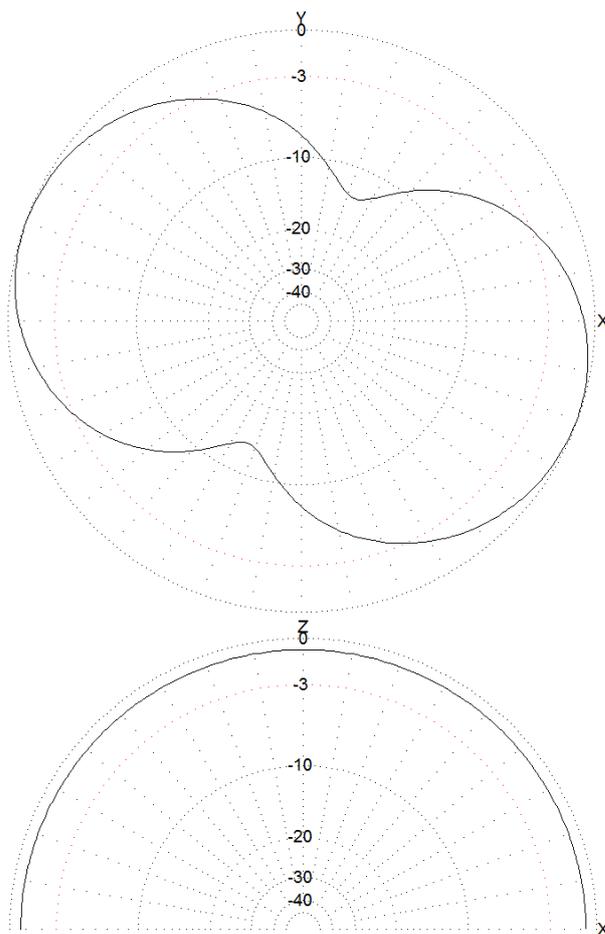
От фиг. 5 може да се отчете честотна лента от 1,6% при  $SWR < 1,5$  и 3,6% при  $SWR < 2$ , което показва очакваното теснолентово поведение на подобен тип структура със затворен контур [6][7].



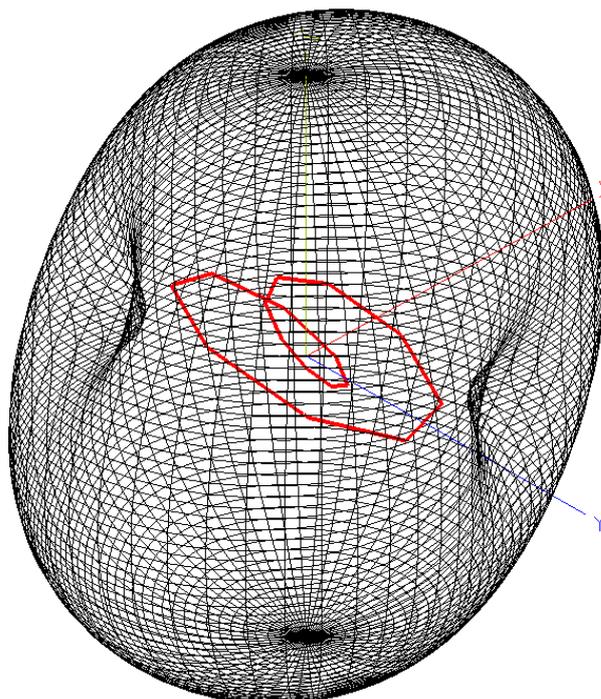
Фиг. 5. Съгласуване на антената

Двумерните и обемната диаграма на насочено действие (ДНД) са показани съответно на фиг. 6 и фиг.7. Наблюдава се изключително равномерна диаграма в равнината, в която лежи основната плоскост на листа на Мьобиус. Диаграмата в перпендикулярната равнина  $xu$  има характер на тази на полувълнов дипол с разликите, че липсва посока с нулево излъчване/приемане и максимумите са

изместени на ъгъл  $\sim 20^\circ$  спрямо перпендикуляра на оста на симетрия на листа на Мьобиус в тази равнина.

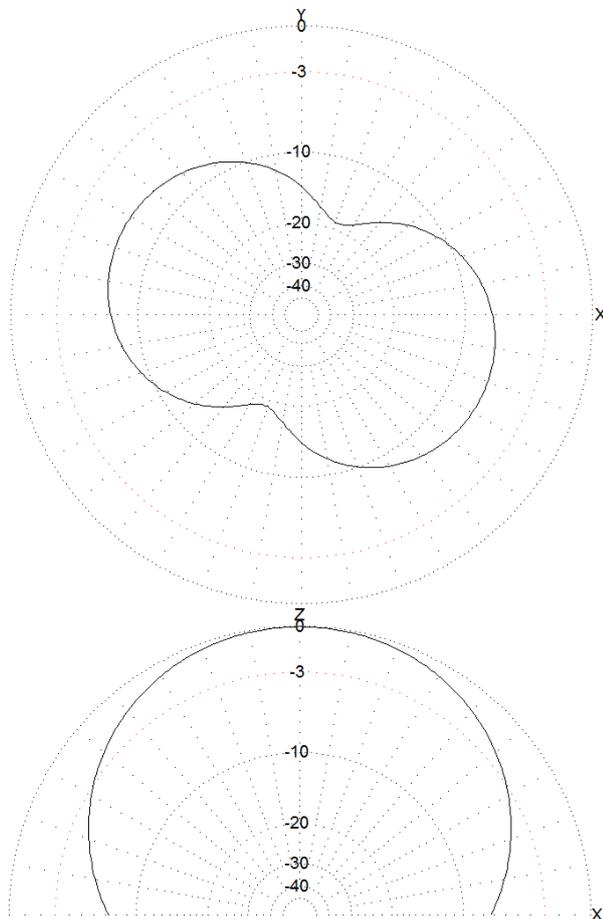


Фиг. 6. 2D ДНД на антената

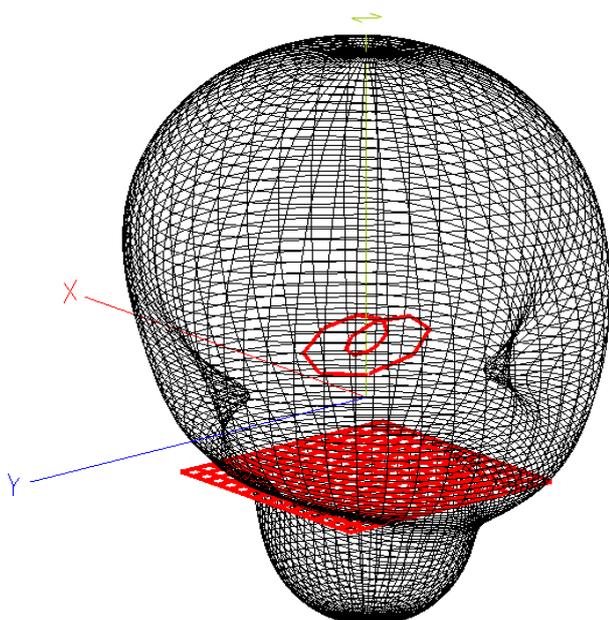


Фиг. 7. 3D ДНД на антената

За постигане на известно насочено действие разглежданата антена с оформление във формата на контура на лист на Мьобиус може да се комбинира с отражател. Резултати за ДНД на подобно решение са показани на фиг. 8 и фиг. 9.



Фиг. 8. 2D ДНД на антена с отражател



Фиг. 9. 3D ДНД на антена с отражател

При представената антена с отражател се постига съгласуване  $SWR = 1,24$ , усилване  $6,27$  dBi и ширина на главния лист на диаграмата  $\sim 60^\circ$  на ниво  $-3$ dB. Ширината на работната честотна лента е  $2,6\%$  при  $SWR < 1,5$  и  $5,2\%$  при  $SWR < 2$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените изследвания може да се направят следните изводи:

- антена тип лист на Мьобиус предлага интересна възможност за употреба в приложения, където се изисква ненасочени антени, като габаритните и размери са по-малки от тези на полуълнов дипол за съответната честота;
- подобен тип структура може да се използва като елемент на по-сложни антенни системи;
- целесъобразно е да се търсят модификации на подобен тип антена за покриване на други изисквания за ДНД, честотна лента и т.н.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pickover C. A., The Möbius Strip : Dr. August Möbius's Marvelous Band in Mathematics, Games, Literature, Art, Technology, and Cosmology, Thunder's Mouth Press, ISBN 1-56025-826-8, March 2005;
- [2] Herges R., Möbius, Escher, Bach – Das unendliche Band in Kunst und Wissenschaft, Naturwissenschaftliche Rundschau 6/58/2005, ISSN 0028-1050, pp. 301–310, 2004;
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/M%C3%B6bius\\_strip#cite\\_ref-2](https://en.wikipedia.org/wiki/M%C3%B6bius_strip#cite_ref-2);
- [4] MATLAB IMAGE PROCESSING TOOLBOX. User's Guide, "The Math - Works Inc.", 2000. [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com);
- [5] Goncharenko I. V., Antennas HF and VHF. Part 1. Computer modeling MMANA, 2004;
- [6] Jonson, R. C., Antenna Engineering Handbook, 3-rd ed., McGraw Hill, 1993;
- [7] Collin R. E., Antennas and Radiowave Propagation, McGraw-Hill, 1985.;

Авторът, д-р маг. инж. Климент Н. Ангелов е главен асистент в катедра РКВТ при ФТК, ТУ-София. За контакти: [kna@tu-sofia.bg](mailto:kna@tu-sofia.bg).