

一种基于科赫分形单元和缺陷接地结构的超宽带天线设计

彭宇, 刘宁川, 张洪

中原电子集团有限公司研发三所, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年4月26日; 录用日期: 2022年5月26日; 发布日期: 2022年6月9日

摘要

本文介绍了一款CSRRs缺陷接地单元的超宽带分形天线。通过加载缺陷接地结构和科赫分形单元使得天线的带宽范围在3.03~16 GHz, 在不增加额外体积的情况下, 拥有高达136%的相对带宽。该设计方法也为不改变额外体积的情况下, 使天线带宽化, 提供了一种研究方向。

关键词

超宽带, 缺陷接地结构, 小型化

Design of Ultra Wideband Antenna Based on Koch Fractal Element and Defected Grounding Structure

Yu Peng, Ningchuan Liu, Hong Zhang

The Third Research Institute, Zhongyuan Electronics Group, Wuhan Hubei

Received: Apr. 26th, 2022; accepted: May 26th, 2022; published: Jun. 9th, 2022

Abstract

This paper introduces an ultra-wideband fractal antenna with CSRRs defected grounding unit. By loading the defected grounding structure and Koch fractal element, the bandwidth of the antenna is in the range of 3.03~16 GHz and has a relative bandwidth of up to 136% without adding additional volume. This design method also provides a research direction for making the antenna bandwidth without changing the additional volume.

Keywords

UWB, Defective Grounding Structure, Miniaturization

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

通信技术不断走向一个又一个的辉煌的今天,对天线的性能要求逐渐变得越来越高,小型化,集成化,低成本,宽带化等性能指标都是当下的热门话题。超宽带天线由于具有独一无二的带宽性能,越来越成为人们研究的重点。同时,超宽带技术作在不断的探索过程中有着非常广泛的用途,特别是在短距离的通信中。

印刷天线[1] [2] [3]因为重量较轻,成本较低,频段宽,辐射性能较好,并且容易进行集成化的特点,因此在超宽带天线上应用具有一定的优势,因此也使得人们将各种技术应用于印刷天线上为了拓展天线的带宽。传统的超宽带天线一般都采用比较复杂的几何结构,比如采用指数函数模型的 Vivaldi 天线,其成本较高。由于分形几何的不断发展,人们逐渐开始将其用在天线上。分形几何的自相似性能够十分有效的拓展天线的带宽并产生多频的特性,而空间填充性则能够有效的缩小尺寸以便天线的小型化。文献[4]中作者将 Peano 分形和 Sierpinski 分形相结合,应用在天线的辐射贴片,从而使天线获得了超宽带性能并达到了小型化的效果。文献[5]中作者通过在地面上刻蚀分形结构,产生多频段的效果,并通过调整分形的尺寸来对频段进行调整。

缺陷接地结构(DGS)首次被发现是被用在了平面电路和低通滤波器中。在滤波器中 DGS 主要是通过接地板上刻蚀一些图案,对接地板上的表面电流分布产生影响,从而改变传输线的相关特性,并产生了慢波特性以及带阻效应[6]。与此同时, DGS 也会对滤波器中的某些频率或者频段进行抑制。为了让天线的辐射性能更好, DGS 也开始逐渐应用在了微带天线中[7]。在天线中,当 DGS 刻蚀在接地板上,介质基板的有效介电常数发生了一定的改变,应用于天线中时改变了微带馈电线上的电感和电容,从而使天线中的高次模被抑制,从而提高了天线的带宽。在微带天线中,由于微带天线中的接地板的面积一般比较大,对天线的辐射造成一定的损失和干扰,因此可以通过加载 DGS 来实现天线的小型化[8] [9] [10]。常见的缺陷接地结构如 T 字形、哑铃型等。本文基于科赫分形与互补开口谐振环(CSRRs)缺陷接地结构设计了一款超宽带天线。

2. 天线结构设计

为了能够更好的让天线集成化,因此采用共面波导馈电的方式,将辐射贴片和接地板放在同一个平面上,本文中提出的天线如图 1 所示。由于正六边形的形状近似一个圆,可以拥有更好的辐射性能,同时,正六边形也方便在边上加载分形单元,因此天线的辐射贴片的形状采用正六边形。天线的整体尺寸为 $35 * 30 \text{ mm}^2$,采用介电常数为 4.4,损耗正切角为 0.02 的 FR4 介质基板,厚度为 1.6 mm。天线的馈电部分通过 50Ω 的 SMA 接头进行馈电。在正六边形的每条边上加载科赫分形单元,由于天线在三次迭代后性能参数变化不大,因此加载分形单元的迭代次数为两次,让天线的带宽得到了一定增加,在不增加天线的面积下。在接地板的两边刻蚀了两个对称的互补开口谐振环缺陷的接地结构,让天线的阻抗匹

配性能变得更加优异，十分有效的拓展了天线的带宽，使得天线的带宽在 3.03~16 GHz 范围内，相对带宽达到了 136%左右。通过 CST 软件进行仿真，通过对相关参数优化，最终天线的参数值如表 1 所示。

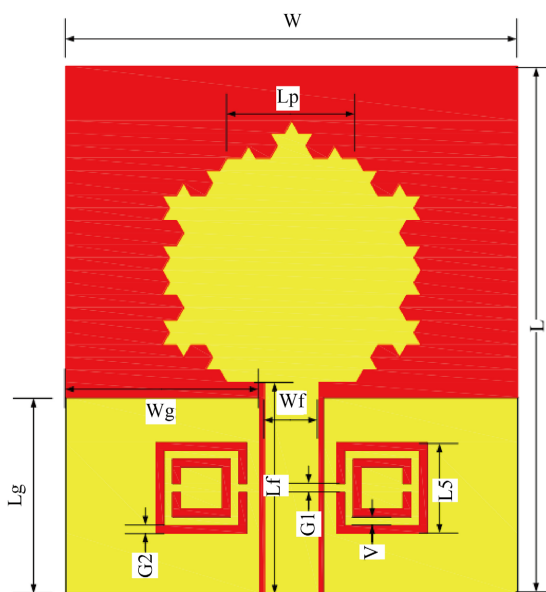


Figure 1. Plan structure of antenna
图 1. 天线的平面结构图

Table 1. Parameters and values of each part of antenna
表 1. 天线的各部分参数及数值

L	W	H	Lp	Wf	Lf	Lp
35 mm	30 mm	1.6 mm	3.6 mm	14 mm	17.2 mm	
Lg	Wg	Ls	G1	G2	V	
13 mm	12.9 mm	6 mm	0.6 mm	0.5 mm	0.6 mm	

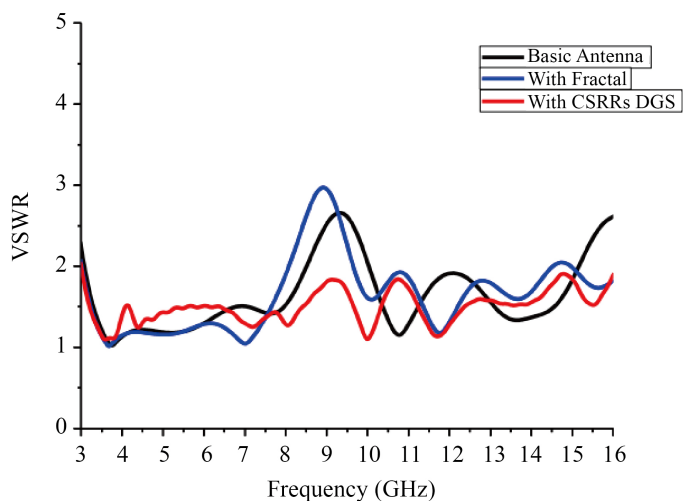


Figure 2. Antenna standing wave ratio diagram in the design process
图 2. 设计过程中的天线驻波比图

图 2 中的曲线表示天线在加载分形单元和 DGS 单元后的驻波比曲线图,从图中可以看出,天线在辐射贴片上加载分形单元后,电长度增加,使得天线的谐振频率向左有一定的偏移,并在高频频段处产生多频的效果,从而拓展了天线的带宽。在接地板上加载 CSRRs 缺陷接地结构后,天线的宽带有明显的提升,CSRRs 缺陷接地结构在一定程度上改善了天线的匹配效果,从而使天线的辐射性能增强。

3. 天线的结果与分析

3.1. 天线增益分析

图 3 中的曲线表示天线在工作频段上的增益值,从图中可以看出天线在低频段时的增益较低,在中高频段时天线的增益数值相对较高,主要可能是由于随着频率的不断变大,天线的辐射性能也逐渐增强,从而增益值比较高。

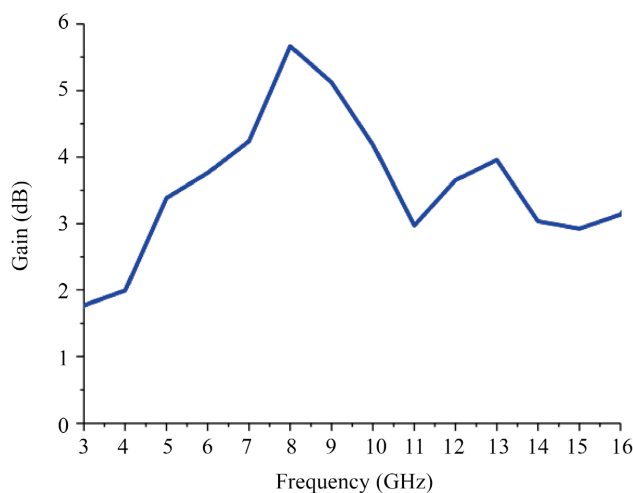


Figure 3. Gain diagram of antenna

图 3. 天线的增益图

3.2. 天线辐射效率分析

图 4 中的曲线表示天线辐射效率图。从图中可以看出天线随着频率的不断增大,辐射效率在逐渐降低,引起这种现象的主要原因可能是在高频时,电流非常大,天线内部消耗的能量增加。天线的辐射范围在 80%~95%之间,从整体上看,天线的辐射效率还是比较好的。

3.3. 天线辐射方向图分析

图 5~7 中为天线在 3.5 GHz、6.5 GHz、11.5 GHz 处的辐射方向图,从图中可以看出天线在 3.5 GHz、6.5 GHz 处的 E 面方向图近似八字形, H 面方向图为一个圆,方向性良好。在高频处天线的方向图发生了一定的畸变,主要是由于天线的在高频处,缺陷接地结构对电流的分布产生了一定的作用,但是天线的辐射强度仍然可以满足通信的要求。

图 8 表示天线分别在 8 GHz, 10 GHz 处的表面电流分布图,从图中可以看出天线表面电流主要集中在 CSRRs 缺陷接地结构处,由此可以看出 CSRRs 结构对天线高频处的特性起着主要作用,从而引起天线产生谐振,拓展带宽。本文中的天线与文献[2]中的天线相比尺寸更小,天线的带宽更宽,天线的辐射效率与之相比低 5%左右。文献[3]中的天线相比本文中的天线,尺寸更大,相对带宽比本文中的天线低 10%左右。

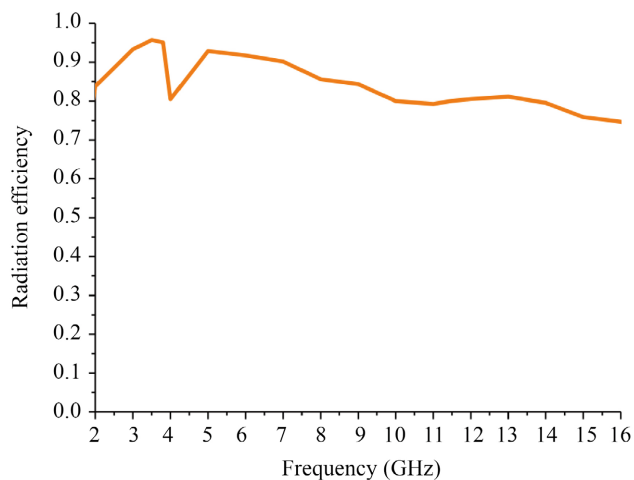


Figure 4. Antenna radiation efficiency
图 4. 天线辐射效率图

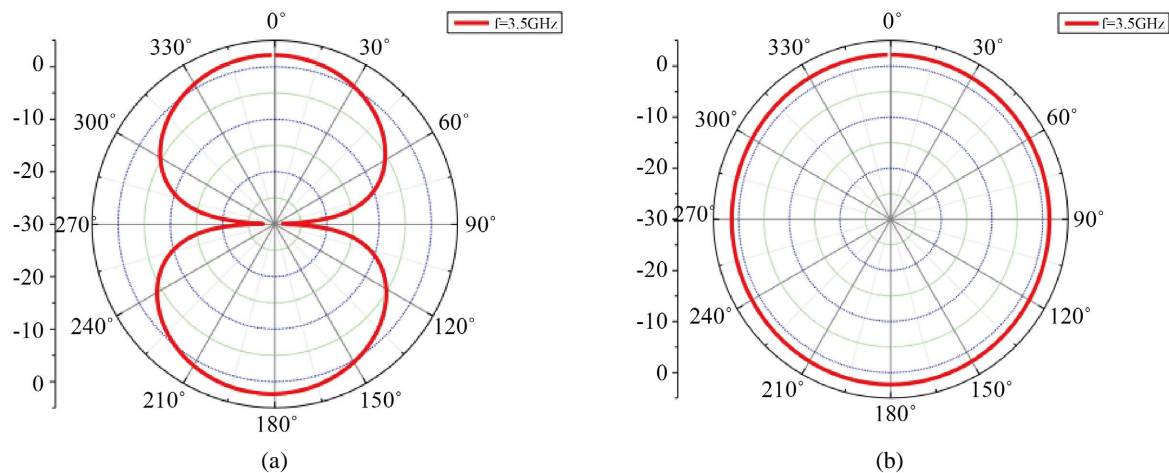


Figure 5. (a) E-plane pattern of antenna at 3.5 GHz; (b) H-plane pattern of antenna at 3.5 GHz
图 5. (a) 天线在 3.5 GHz 的 E 面方向图; (b) 天线在 3.5 GHz 的 H 面方向图

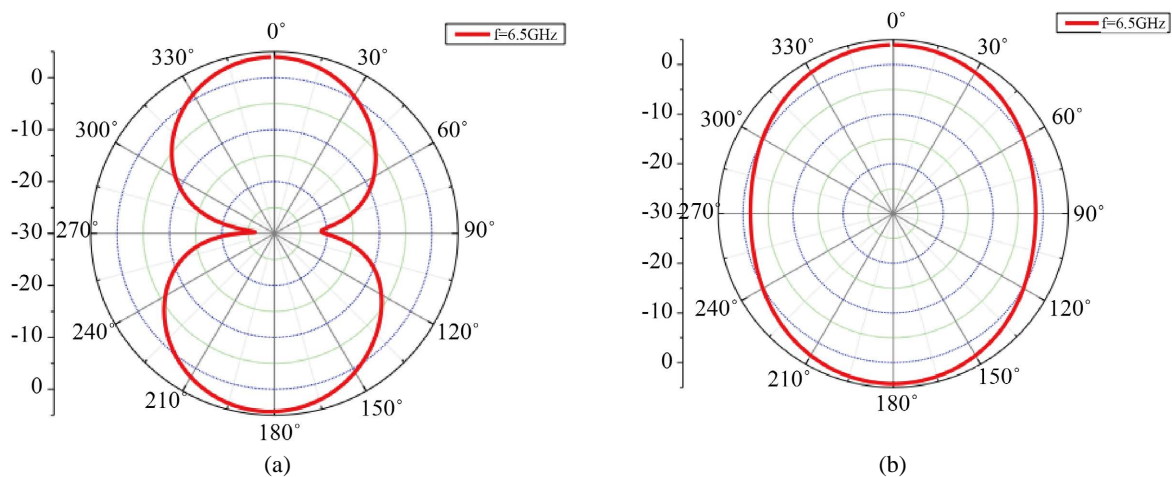


Figure 6. (a) E-plane pattern of antenna at 6.5 GHz; (b) H-plane pattern of antenna at 6.5 GHz
图 6. (a) 天线在 6.5 GHz 的 E 面方向图; (b) 天线在 6.5 GHz 的 H 面方向图

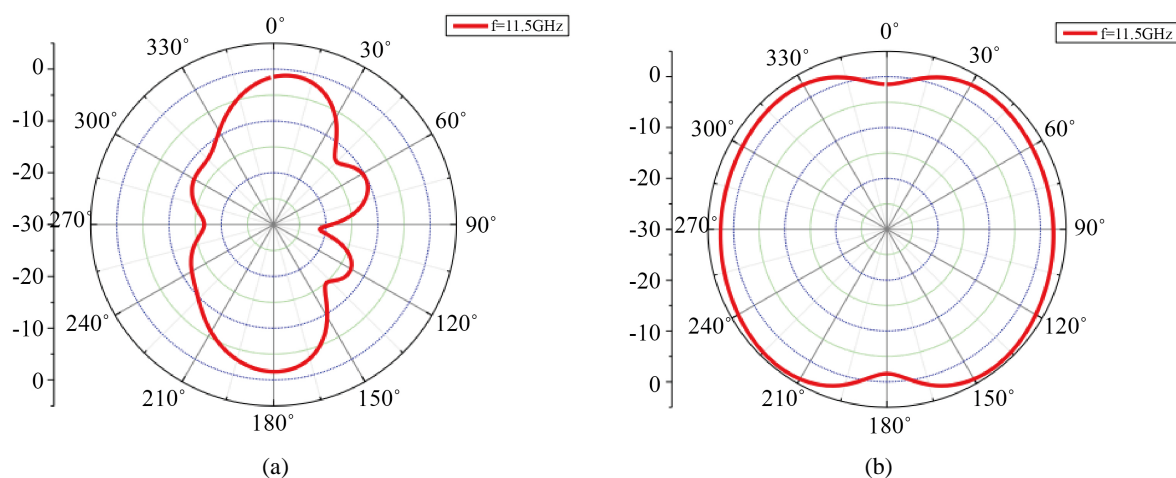


Figure 7. (a) E-plane pattern of antenna at 11.5 GHz; (b) H-plane pattern of antenna at 11.5 GHz

图 7. (a) 天线在 11.5 GHz 的 E 面方向图; (b) 天线在 11.5 GHz 的 H 面方向图

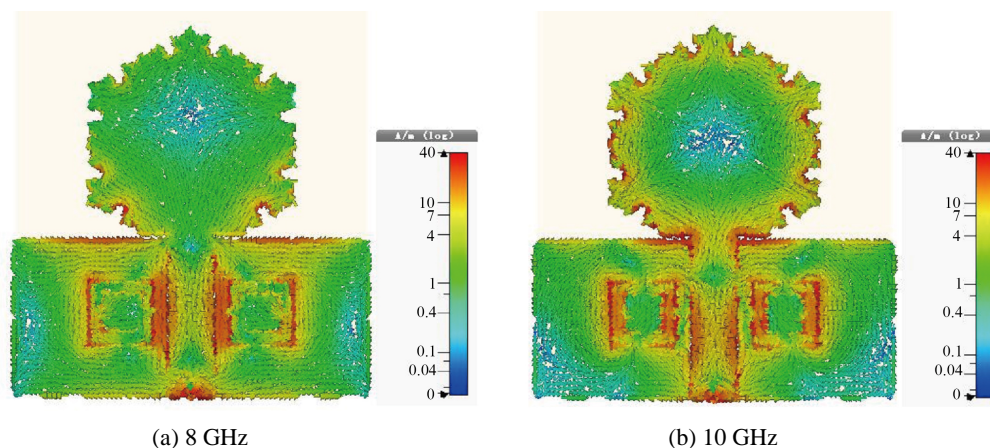


Figure 8. Surface current distribution of antenna at 8 GHz and 10 GHz

图 8. 天线在 8 GHz, 10 GHz 处的表面电流分布图

4. 结论

本文介绍了一款 CSRRs 缺陷接地单元的超宽带分形天线。通过加载缺陷接地结构和科赫分形单元,使得天线的带宽范围在 3.03~16 GHz,在不增加额外体积的情况下,拥有高达 136% 的相对带宽。文章的设计方法也为不改变额外体积的情况下,使天线带宽化,提供了一种研究方向。本文不足之处在于没有对该天线进行实物加工,但本文的理论分析充分和仿真数据较好,希望该研究方向的学者可以参考相关数据进行实物加工和测试验证。

参考文献

- [1] Chen, Z.N., See, T.S.P. and Qing, X. (2007) Small Printed Ultra-Wideband Antenna with Reduced Ground Plane Effect. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **55**, 383-388. <https://doi.org/10.1109/TAP.2006.889823>
- [2] Puri, S.C., Das, S. and Tiary, M.G. (2018) A CPW Fed Trapezoidal Fractal Patch Antenna for UWB Applications. 2018 *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, Boston, 8-13 July 2018, 749-750. <https://doi.org/10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8609082>
- [3] Aissaoui, D., Hacem, N.B. and Denidni, T.A. (2015) UWB Hexagonal Monopole Fractal Antenna with Additional

-
- Trapezoidal Elements. 2015 *IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB)*, Montreal, 4-4 October 2015, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICUWB.2015.7324526>
- [4] Oraizi, H. and Hedayati, S. (2011) Miniaturized UWB Monopole Microstrip Antenna Design by the Combination of Giuseppe Peano and Sierpinski Carpet Fractals. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **10**, 67-70. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2011.2109030>
- [5] Gemio, J., Granados, J.P. and Castany, J.S. (2009) Dual-Band Antenna with Fractal-Based Ground Plane for WLAN Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **8**, 748-751. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2008.2008111>
- [6] Wu, G., Mu, W., Dai, X., *et al.* (2008) Design of Novel Dual-Band Bandpass Filter with Microstrip Meander-Loop Resonator and CSRR DGS. *Progress in Electromagnetic Research PIER*, **78**, 17-24. <https://doi.org/10.2528/PIER07090301>
- [7] Guha, D., Biswas, M. and Antar, Y.M.M. (2005) Microstrip Patch Antenna with Defected Ground Structure for Cross-Polarization Suppression. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **4**, 455-458. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2005.860211>
- [8] Xiaodi, S. (2009) Small CPW-Fed Triple Band Microstrip Monopole Antenna for WLAN Applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, **51**, 747-749. <https://doi.org/10.1002/mop.24166>
- [9] Antoniadis, M.A. and Eleftheriades, G.V. (2008) A Compact Multiband Monopole Antenna with a Defected Ground Plane. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter*, **7**, 652-655. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2008.2007813>
- [10] Chiang, K.H. and Tam, K.W. (2008) Microstrip Monopole Antenna with Enhanced Bandwidth Using Defected Ground Structure. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **7**, 532-535. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2008.2005592>