

应用于 RFID 中宽频带贴片小天线的设计与研究

王丛屹 谭立容 伍瑞新

(南京大学电子科学与工程学院, 南京 210093)

rxwu@nju.edu.cn

摘 要: 本文主要设计与研究用于标签识别上的贴片天线, 为实现该类型天线小尺寸, 相对较低工作频点 (915MHz) 和高增益以及宽频带要求, 在认真比对和分析各类天线特征以及优缺点后, 本文决定采用 Koch 分形缺陷接地面结构来解决传统半波偶极子天线因频点较低而尺寸大的缺点, 而为了解决分形缺陷几何结构因具有多谐振频点而带来的低增益、窄带宽固有缺点, 在分形缺陷几何结构基础上加了具有较大带宽的半平面领结型天线作为对先前低增益和窄带的补偿。因此该结构天线具有低频点, 尺寸小, 频带宽, 增益大的优点。

关键词: RFID; Koch 分形; 宽频带; 标签小天线

Design and Research on Wideband Small Patch Antenna in the application of RFID

WANG Congyi, TAN Lirong, WU Ruixin

(School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of China, Nanjing 210093)

Abstract: In this paper, a small patch antenna in the application of RFID tags is being designed and analyzed. In order to realize the mini-size, compared lower working frequency (915MHz), high-gain and wideband in this type of antenna, having been through meticulous comparing and analyzing characters, advantages and disadvantages between various types of antennas, the Koch Slot Ground Plane is adopted to solve the big size of traditional half wavelength bipolar antenna due to its lower resonant working frequency. To solve the low-gain and narrow bandwidth brought up by the multiple resonant frequencies which is the impossible eliminated character of the fractal geometry, the half-bowtie plane type which compensates the low gain and narrow-bandwidth is added on the foundation of fractal slot geometry. Thus, this type of antennas shares the advantages of lower working frequency, mini-size, wide bandwidth and high-gain.

Keywords: RFID; Koch Fractal; wide bandwidth; small tag antenna

1 引言

设计带有分形结构的天线是克服传统天线单工作带宽和工作波长对天线尺寸的依赖这两个主要局限的一种很有效的设计方法。具有自相似特征的特定分形结构会导致分形结构的天线具有多工作频带的特点^[1]。另一方面, 具有最高弯折效率的特定分形为天线在特定谐振点工作时体积和尺寸的减小提供了可能^{[2], [3]}。但是, 传统的分形结构却具有低带宽

和低增益这些不可避免的缺点。因此在本文中, 一种在分形缺陷结构基础上设计的新型宽频带、高增益贴片天线将被实现从而达到最优的天线性能。在前人研究中, 以微带线馈电并与之相匹配的辐射片加载在分形缺陷结构上是一种弥补传统分形结构缺点的方法^[4]。与之类似, 以微带线馈电并且在分形缺陷结构上加载有宽频带特性的匹配平面半领结天线这种衍生扩展方法将在本文中运用和研究。最后, 通过仿真给出尺寸优化后的天线性能结果。

2 天线设计

2.1 天线外形轮廓

设计的分形缺陷接地面贴片天线的外形轮廓如图 1 所示。天线被放置在低损耗介电常数 $\epsilon_r=2.64$ 和厚度为 $thick$ 的介质板上。变形 Koch

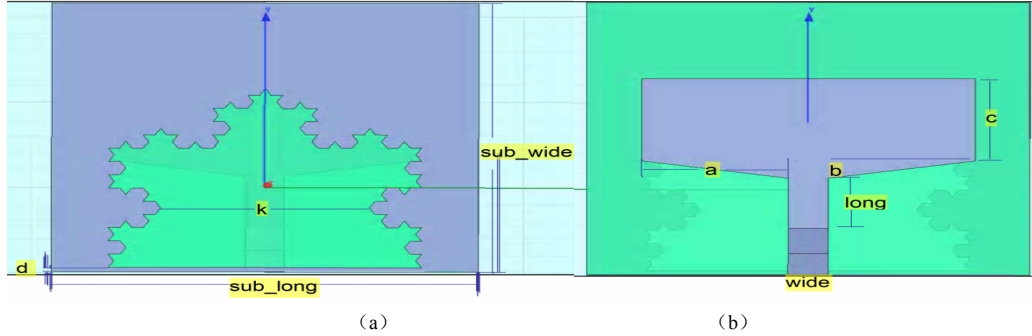


图 1 加有平面半领结辐射片的变形 Koch 分形缺陷贴片天线 (a) 正面 (b) 反面

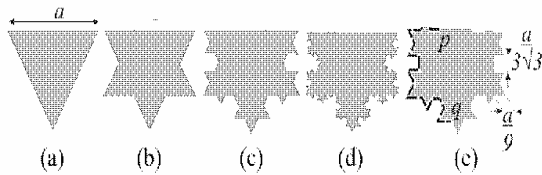


图 2 不同阶数下的 Koch 分形几何结构

(a) 基本图形 (b) 一阶 (c) 二阶 (d) 三阶 (e) 尺寸标注

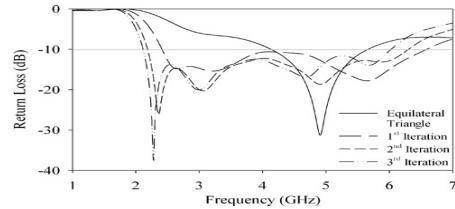


图 3 天线在不同阶数下的 S11

2.2 分形结构的阶数、尺寸和在介质板上的位置

图 3 显示了不同阶数下的 Koch 分形结构的贴片反射系数 S11。和开始的预期一致，天线的谐振频率随阶数的增加而减小。尽管分形的周长随阶数的加 1 而增加 33%，但是谐振频率并不按照外周长的增大而增加。因此调整 Koch 分形阶数能在不改变天线带宽前提下降低谐振点频率。当 Koch 阶数加 2 时，天线的工作频带从 4.1-5.6GHz 移动到 2.2-6.3GHz。在这基础上再增加分形结构的阶数只能略微减小谐振频率。显而易见，3 阶的 Koch 分形结构的贴片经过调整尺寸参数便能覆盖 915MHz 频段并且有个合适的开口尺寸。

从图 4 运用 HFSS 仿真得出的贴片表面电流分布可以看出，表面电流都被观察到分布在分形缺陷结构的边缘处并且在从 p 到 q 的 ‘pq’ 边缘段，电流

树状分形缺陷结构和辐射片通过穿越介质板的微带线相连并馈电。天线的性能通过 Ansoft HFSS 进行仿真分析^[5]。缺陷的基本几何形状为边长为 a 的等边三角形，然后用各阶数的 Koch 分形几何结构替换接地面缺陷形状上除底边外的另两边，如图 2 所示。

有相差半个波长的相位变化。基于此，将 Koch 分形缺陷边缘的几何形状和欲设计的天线工作频率相联系的设计方程被推导出来。根据分形替换衍生的本质，Koch 分形缺陷边缘的周长可以从初始的等边三角形边长 a 推导出来。并且，绝缘介质板的加入与加空气板相比会增大天线的有效尺寸从而降低天线的工作频率。所以，边界 ‘pq’ 的长度最终与在最低谐振点处的辐射波长 λ_{r0} 以及基板介电常数 ϵ_r 和厚度 $thick$ 联系起来。

$$\frac{\lambda_{r0}}{2} = \epsilon_r \times thick \times (pq) \quad (1)$$

而

$$pq = 17 \frac{a}{9} + \frac{a}{3\sqrt{3}} \approx \frac{20a}{9} \quad (2)$$

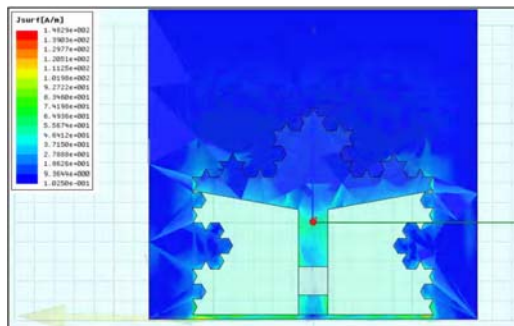
因为天线最低谐振点频率为 0.915GHz，从而以 mm 为单位的分形缺陷几何结构的直径 a 可以通过联立式 (1)、式 (2) 得到：

$$a = \frac{67.5}{\varepsilon_r \times \text{thick} \times f_{r0}} \quad (3)$$

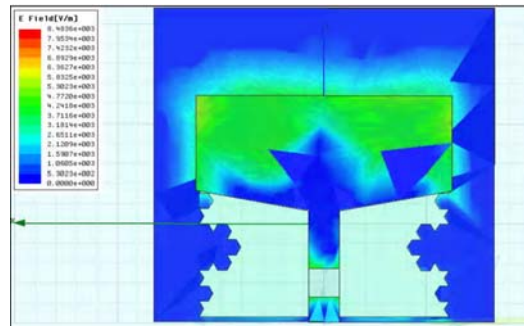
从而最后的 Koch 分形结构是在以 a 为边长的等边三角形上取 Koch 的三阶分形而获得的。增大 a 会略微减小天线工作频率。

将 $f_{r0}=915\text{MHz}$ ，所用介质版的介电常数 $\varepsilon_r=2.64$ 和厚度 $\text{thick}=0.5$ 带入 (3) 式，可得 $a \approx 30\text{mm}$ 。

而 a 与 Koch 分形缺陷结构的缩放因子 k 有一



(a)



(b)

图4 仿真得到的天线面电流分布 (a) 分形缺陷面 (b) 辐射谐振片面

2.3 宽频带平面半领结型辐射片设计

辐射谐振片类似于四分之一波长的单极子天线当谐振片的宽度 a 近似为 $\lambda/4$ 从而加强第一谐振点处的性能，其具体的计算公式如下：

$$2a + \text{wide} \approx \frac{c}{4f_{r0}} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} \right)^{-1} \quad (4)$$

将 $c=3 \times 10^{11}\text{mm}$ ， $f_{r0}=915 \times 10^6\text{Hz}$ ， $\varepsilon_r=2.64$ 带入，可得 $a \approx 12\text{mm}$ 。经过 HFSS 仿真， a 确定为 10.925mm 。

经过仿真，辐射片的张角 α 是 $\tan^{-1}(11/2) \approx 80^\circ$ 时，天线能获得最大的带宽，根据辐射谐振片的几何关系 $\tan \alpha = a/b$ ，将 $a=10.925\text{mm}$ 带入上式进行计算得 $b \approx 2\text{mm}$ ，最后经过仿真优化， $b=2\text{mm}$ 。且 b 的增加会显著降低天线谐振频率。

谐振辐射片的尺寸 c 可根据天线的谐振频点和最大辐射增益得出，增加 c 利于频带的增加，但却

定关联，经过在 HFSS 中测量可知，当 $k \approx 1.11$ 时，分形缺陷的尺寸 a 近似为 30mm 。

因为分形缩放因子 k 的增加会使天线的工作频点下移，为了使 f_{r0} 为 915MHz ，经过仿真调整， k 确定为 1.11 。而分形缺陷在介质板上的位置根据分形中心点偏离介质板中心距离 d 确定。最后通过仿真 d 被确定为 -2.4mm ，即分形缺陷在介质板下 2.4mm 位置处。

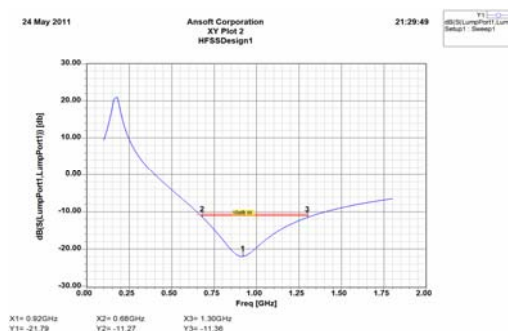
以频点的下移为代价，通过最后优化， $c=9.5\text{mm}$ 。

2.4 各尺寸参数对天线的影晌和天线尺寸优化

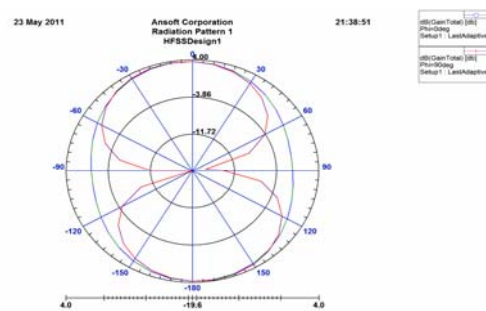
在天线工作频点上，6 类不同尺寸天线的带宽如表 (1) 所示。要使天线带宽尽可能大， c 应尽可能大， thick 应尽可能小，但由前面分析可知， c 的增加会使频点下移， thick 的减小使频点上移，这两者恰好可以相互抵消，使天线工作频点恰好落在 915MHz 附近，天线 I II III 正好是这两者变化对带宽影响的反应，因此天线 III 具有理论上的最大带宽。但由于实际加工过程中，介质板的厚度不可能做到 0.1mm ，最薄只能到 0.5mm ，此时 thick 在原先理论上增加了，降低了频点，因此需减小 a 、 b ，有时甚至 c ，附带调节 long 、 d 和 k 来抵消这种影响。

表 1 几种不同尺寸天线性能

antenna	long (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	thick (mm)	k (mm)	d (mm)	f_{r0} (G)	BW (G)
I	5.8	10.925	2	8.5	0.5	1.2	-2	0.915	0.16
II	4.8	11.925	7	12.5	0.3	1	-2.5	0.915	0.24
III	3.8	11.925	9	11.5	0.1	1	-2.5	0.915	0.25
IV	4.8	11.925	10	9.5	0.5	1	-2.6	0.915	0.21
V	3.8	11.925	9	9.5	0.5	1	-3.2	0.915	0.21
VI	5.8	10.925	2	9.5	0.5	1.11	-2.4	0.915	0.2



(a) S11 和 10dB 带宽



(b) 辐射方向图

图 5 仿真结果

3 仿真结果

经过优化，表（1）中天线Ⅲ具有最优性能，但符合实际加工条件的天线为ⅣⅤⅥ，且带宽都在 0.2GHz 附近，现取Ⅵ仿真，从结果（图 5-a）可以看出，该贴片天线的反射损耗系数 S11 在 915M 附近达到最低，其值 $S_{11_{\min}} = -21.8\text{dB}$ ，10dB 点处的带宽 $W = 1.3\text{GHz} - 0.68\text{GHz} = 0.62\text{GHz}$ 。

图（5-b）显示天线在 E 面和 H 面辐射增益方向波瓣图（红色的线表示 E 面，蓝色的线表示 H 面），可见该天线在 H 面具有近似全向的辐射方向图，在 E 面具有很好的前后双向辐射特性，并且在最大方向的增益近似达到 4dB。

4 总结

在本文中，一种覆盖全球 RFID 频段（860MHz~960MHz）的新型 Koch 分形缺陷宽频微带贴片小天线得到实现。仿真结果表明 Koch 分形结构的引进能缩小尺寸，平面半领结形辐射片加入能克服传统分形结构低带宽、低增益的缺点，从而该结构天线非常适合作为 RFID 中的标签贴片天线。

参考文献

- [1] D. Wemer and R. L. Haupt, "Fractal antenna engineering: The theory and design of fractal antenna arrays, " *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 41, no. 10, pp. 37–59, Oct. 1999.
- [2] C. Puente, J. Rorneu, R. Pous, and A. Cardama, "On the behavior of the sierpinski multiband antenna, " *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.46, no. 4, pp. 517–524, Apr. 1998.
- [3] C. Puente, J. Rorneu, R. Pous, J. Ramis, and A. Hijazo, "Small but long Koch fractal monopole, " *IEE Electron. Lett.*, vol. 34, no. 1, pp. 9–10, 1998.
- [4] N. Lenin and P. H. Rao, "Broadband printed square slot loop antenna, "presented at the IEEE AP-S Int. Symp. Antennas and Propagation, Washington, DC, Jul. 3–8, 2005.
- [5] Ansoft HFSS v. 10.0: Ansoft Inc. Pittsburgh, PA