

多应用环境下新型微带偶极子天线设计与优化

卢文峰, 钟业奎

(合肥工业大学 信息工程系, 安徽 宣城 242000)

摘要: 传统偶极子天线结构存在偶极子臂细、安全性低、天线走线占用空间大、增益特性差等问题, 提出多应用环境下螺旋形印刷微带偶极子天线设计与优化方法; 初始化微带偶极子天线工作结构, 设计加粗偶极子臂的螺旋形印刷天线, 减小天线走线占用空间; 设计振子方向、振子阻抗特性, 推导出最优结构参数; 实验证明可知, 在 330~332 MHz 的有效范围内, 驻波比小于 1.30 dB, 在 331.5~334.9 MHz 有效范围内, 回波损耗小于 -10 dB, 其方向对称性较好, 天线输入端驻波比与回波损耗较为理想, 该天线具有较好特性。

关键词: 多应用环境; 螺旋形印刷天线; 微带偶极子天线; 优化

Design and Optimization of New Type Micro Strip Dipole Antenne under Multi-application Environment

Lu Wenfeng, Zhong Yekui

(Hefei University of Technoigy, Department of information engineering, Xuancheng 242000, China)

Abstract: The problem is fine, the dipole arm low safety, antenna wiring space and gain characteristics of difference existing in the traditional dipole antenna structure, the multi application environment of spiral printed microstrip dipole antenna design and optimization method. The work structure of microstrip dipole antenna is initialized, and the spiral printed antenna with bold dipole arm is designed to reduce the occupied space of antenna line. Design the oscillator direction and the impedance characteristics of the oscillator, and derive the optimum structural parameters. Experiments show that the effective range in time, in less than Bobbi, within the effective range, the return loss is less than its direction, good symmetry, the antenna input in Bobbi and the return loss is more ideal, this antenna has good characteristics.

Keywords: multi-application environment; helix antenna; microstrip dipole antenna; optimization

0 引言

无线电通信技术发展至今, 已经在车载终端、便携设备领域中得到了广泛的应用。天线既是无线电通信重要的组成部分, 也是影响通信系统性能的重要组件。目前对无线电通信的应用仍然局限在宽频带和小型化之中, 存在偶极子臂细、安全性低、天线走线占用空间大、增益特性差等问题, 很难满足现代科技对通信的要求^[1-2]。文献 [3] 提出了高功率共面馈电脉冲辐射天线设计, 该天线结构具有体积小优势, 但是在安全性能方面较差, 不能满足通信的基本要求; 文献 [4] 提出了平行带状线馈电的双面印刷偶极子天线设计, 该天线结构便于集成、组成阵列, 但是体积较大, 也不能满足通信的基本要求。

针对上述问题, 提出了多应用环境下螺旋形印刷微带偶极子天线设计与优化。该结构具有重量轻、体积小、成本低, 便于集成、组成阵列, 还能克服微带天线频带窄的缺点。利用专业电磁仿真软件 HFSS 对天线特性进行仿真, 并得出结论, 螺旋形印刷微带偶极子天线设计增加了偶极子臂

的粗度, 具有良好的安全性能, 大大减小了天线走线所占用的空间, 增强了增益的特性, 具有较好的性能, 对于未来的微带偶极子天线的设计与优化具有一定的参考价值。

1 多应用环境下新型微带偶极子天线设计与优化

1.1 微带偶极子天线硬件设计

微带偶极子天线工作结构如图 1 所示。

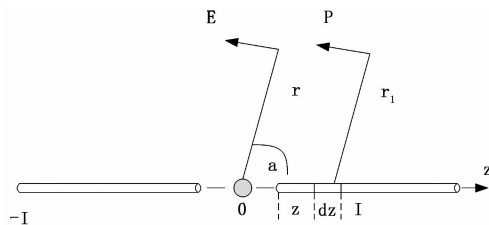


图 1 微带偶极子天线工作结构图

由图 1 可知: 该天线的结构是由两根粗细均匀, 长度相同的导线组成的, 中间为两个反馈的电端。距离微带偶极子振子中心 z 处可以取长度为 dz 的一个微小电流元段, 并将此电流元段分解为多个“元过程”, 以此为基础对微带偶极子天线的硬件进行初始化设计。

1.1.1 初始化设计

微带偶极子天线的初始化设计是由振子臂、介质板以

收稿日期: 2017-08-16; 修回日期: 2017-10-29。

作者简介: 卢文峰(1996-), 男, 安徽滁州人, 方向的研究电子信息科学与技术方向的研究。

及底部的渐变阻抗变换段和反射板组成的。介质板的顶部和底部以及两侧都是由振子臂包围的, 且利用微带线进行馈电, 其初始化结构如图 2 所示。

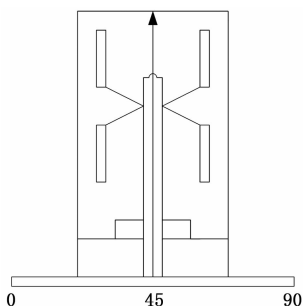


图 2 初始化结构

由图 2 可知: 初始化的微带偶极子天线结构设计在臂的上部和下部比较单薄, 安全性极低, 为此应该对该结构进行优化。

1.1.2 优化后的微带偶极子天线结构

优化后的天线结构如图 3 所示。

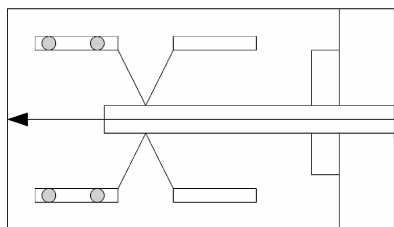


图 3 优化后的天线结构俯视图

由图 3 可知, 优化后的天线结构在图 2 的基础上, 添加了寄生贴片, 并在上下贴片的表面进行穿孔, 通过金属线进行连接, 这无疑增加了偶极子臂的粗度。

介质板中介质层的材质是由介电常数为 $\epsilon = 4.4$ 的环氧树脂玻璃纤维板组成的, 并采用了双面敷铜结构组成了天线的两个臂端, 且利用微带线进行馈电^[5]。数据信号流经过天线的馈电位置导入, 并经过微带巴伦的整体结构传输到偶极子天线的两个臂端。而在微电的传输线路上, 电流的方向是相反的, 不可能接收到辐射的电磁波。半波偶极子天线的长度是偶极子天线两个臂端长度的一般, 且该天线的设计呈现的是一个对称的结构, 在传输的线路上, 反馈的电流也必须是对称的。该结构与底座连接时, 需要使用一个转换的结构, 从电流的不稳定到稳定; 从阻抗的角度分析, 该天线结构需要设置一个电阻并且阻值为 82.1 欧姆, 反馈端口电阻的阻抗为 50 欧姆, 并且使用微带巴伦来实现电阻阻抗的匹配。将微带天线技术与对称振子天线的属性相结合, 能够提高该系统的安全性能。

1.1.3 螺旋形印刷天线结构

基于上述优化后的天线结构, 提出了一种螺旋形印刷天线结构, 如图 4 所示。

由图 4 可知: 该结构将基片的顶部和底部利用微带线缠绕成类似螺旋天线的一种结构形式。该结构中上下走线

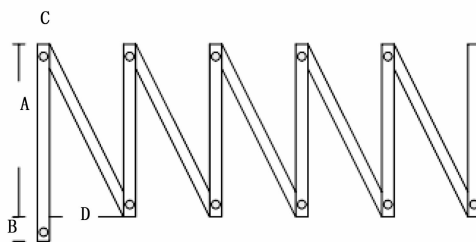


图 4 螺旋形印刷天线结构框图

采用的是 0.2 mm 的铜孔来连接的, 这种连接的方式能够增加电流路径的长度, 还能节省天线走线所占用的空间。螺旋形印刷天线结构采用两层的方式能够有效的增加天线的物理长度, 还能减少天线走线所占用的面积, 位于中间位置的介质基片不但能够抑制不同天线层的电磁干扰, 还能抑制不同走向电流之间的增益衰减^[6-7]。螺旋形印刷天线结构既拥有传统天线结构的安全性, 又拥有较高的增益特性, 是一种在多应用环境下最适用的天线结构。

1.2 微带偶极子天线软件设计

1.2.1 微带偶极子天线软件设计原理

微带偶极子天线工作原理是以元过程为基础, 并采用物理或数学的分析方法化解问题, 该方法也被称为微元法^[8], 利用微元法可以计算距离较远的辐射区场, 其数值为:

$$Q(a) = n \frac{75\pi I}{\lambda} \frac{e^{-nbr}}{r} \sin a \int_{-1}^1 \sin b(s - |z|) e^{nbr \cos \alpha} dz = \frac{n 75 I_f}{\lambda} \frac{\cos(bs \cos a) - \cos(bs)}{\sin a} \quad (1)$$

公式 (1) 中: $Q(a)$ 为距离较远的辐射区场数值; b 为相移的常数项; I 为微带偶极子天线上的电流; s 为微带偶极子天线的单臂长度; r 为球面半径; a 为图 1 中角度; e^{-nbr} 为球面的因子。由于该球面因子的存在, 说明极化方式为线极化, 辐射磁场为球面波型。由于 $bs = \frac{2\pi s}{\lambda} = 2\pi \frac{s}{\lambda}$, 辐射磁场的方向不仅与 a 有关, 还与对称偶极振子的长度有关。

1.2.2 对称偶极振子方向设计

对称偶极振子方向函数的计算以波腹电流归算为基础^[9-10], 其公式如 (2) 所示:

$$\omega(a) = \left| \frac{\cos(bs \cos a) - \cos(bs)}{\sin a} \right| \quad (2)$$

公式 (2) 中: $\omega(a)$ 为对称偶极振子方向函数; b 为相移的常数项; s 为微带偶极子天线的单臂长度; $bs = \frac{2\pi s}{\lambda} = 2\pi \frac{s}{\lambda}$, 辐射磁场的方向不仅与 a 有关。在振子 Q 面上的方向函数与电流方向无关。

对称偶极振子在轴向上没有辐射, 辐射与微带偶极子天线单臂长度 s 有关, 当 s 的长度小于等于 0.5λ 的时候, 对称偶极振子所经过的电流是相同的, 在电流相同的情况下, 参与辐射电流元就会增加, 当 $a = 90^\circ$ 时, 该方向上的辐射强度就会增加, 电波的宽度就会变窄; 当 s 的长度等于 0.5λ

的时候, 对称偶极振子所经过的电流的走向是相反的, 这时就会出现副波瓣; 当 s 的长度增大为 0.7λ 的时候, 该方向上的辐射就会发生偏移; 当 s 的长度等 λ , $a = 90^\circ$ 的时候, 该方向上的辐射强度为 0。

1.2.3 对称偶极振子阻抗特性的设计

由于偶极振子阻抗对输入电流的异常敏感, 导致了实际的电流分布情况与理论中的分布情况有一定的差别, 具体表现在输入端和波节处。传统系统在计算输入阻抗的时候, 一般采用的是等值的传输方法。

对称偶极振子的平均阻抗为:

$$R = \frac{1}{s} \int_0^s R_0(r) dz = 120 \left(\ln \frac{2s}{r'} - 1 \right) \quad (3)$$

公式 (3) 中: R 为偶极振子的阻抗; s 为微带偶极子天线的单臂长度; r 为球面半径; dz 为一个微小电流元段; r' 为振子半径。

对称偶极振子的输入阻抗为:

$$R_m = R \frac{1}{ch(2gs) - \cos(2hs)}$$

$$\left[ch(2gs) - \frac{g}{h} \sin(2hs) - n \left(\frac{g}{h} ch(2gs) \right) + \sin(2hs) \right] \quad (4)$$

公式 (4) 中: R_m 为对称偶极振子输入阻抗; s 为微带偶极子天线的单臂长度; g 为衰减常数; h 为相移常数;

由公式 (4) 可知, 对称偶极振子越粗, 对称偶极振子平均阻抗 R 就越; 对称偶极振子的输入阻抗会随着微带偶极子天线的单臂长度 s 的变化而越发的平缓, 这样有利于改善频带宽度, 使之更适用于多应用环境下的新型微带偶极子天线结构。

1.2.4 天线结构参数优化

该系统设计的中心频率为 3.25 GHz, 如果传播介质为自由的空间, 那么该天线结构所对应的工作波长为 112 mm 左右, 偶极子天线两臂加一起的长度为 56 mm 左右; 如果传播介质为全部填充的 FR-4 等级材料, 那么该天线结构所对应的工作波长为 60 mm 左右, 偶极子天线两臂加一起的长度为 30 mm 左右。本文提出的螺旋形印刷天线结构既包括自由空间, 又包括介质, 因此该天线两臂加一起的长度应为 30 mm—56 mm 左右, 而螺旋形印刷天线两臂加一起的长度应取两者的平均值 43 mm, 且输出的长度为 20 mm, 微带巴伦结构中两个直角边的长度分别为 9 mm 和 11 mm, 传输线的宽度为 4 mm。

由于螺旋形印刷天线呈现的是弯折的状态, 因此其实际各位置的尺寸要大于理论尺寸, 初始尺寸设定如表 1 所示。

表 1 螺旋形印刷天线初始尺寸

参数	第一个基层 多余的高度	基层 高度	基层 宽度	连接两孔之 间的距离	走线循 环半径
尺寸/mm	6	7.5	0.9	4	0.3

1) 基层高度对谐振频率的影响。

保持天线其它参数不变, 根据参数扫描功能, 基层高度分别为 15 mm、14 mm、13 mm 的时候, 天线谐振频率

分别为 539 MHz、587 MHz、621 MHz, 由此可以得出结论: 随着基层高度的降低, 其谐振的频率变大。

2) 基层宽度对谐振频率的影响。

保持天线其它参数不变, 根据参数扫描功能, 基层宽度分别为 3 mm、2.8 mm、2.1 mm 的时候, 天线谐振频率分别为 565 MHz、592 MHz、640 MHz, 由此可以得出结论: 随着基层宽度的降低, 其谐振的频率变大。

3) 连接两孔之间距离对谐振频率的影响。

保持天线其它参数不变, 根据参数扫描功能, 连接两孔之间距离分别为

1.2 mm、0.8 mm、0.6 mm 的时候, 天线谐振频率分别为 623 MHz、610 MHz、592 MHz, 由此可以得出结论: 随着连接两孔之间距离的减小, 其谐振的频率也变小。

由此可以得出天线结构最优参数尺寸如表 2 所示。

表 2 螺旋形印刷天线结构最优参数尺寸

参数	第一个基层 多余的高度	基层 高度	基层 宽度	连接两孔之 间的距离	走线循 环半径
尺寸/mm	6	13	2.1	4	0.3

2 实验结果与分析

为了验证多应用环境下新型微带偶极子天线设计与优化的合理性, 进行了仿真对比实验, 其实验过程如下所示:

- 1) 采用的是 HFSS11 软件建立模型, 设置实验环境与参数。
- 2) 回波损耗分析与结果以满足通信要求。
- 3) 驻波比分析与结果以满足通信要求。

2.1 实验环境与参数设置

实验采用的是 HFSS11 软件所建立模型, 如图 5 所示。

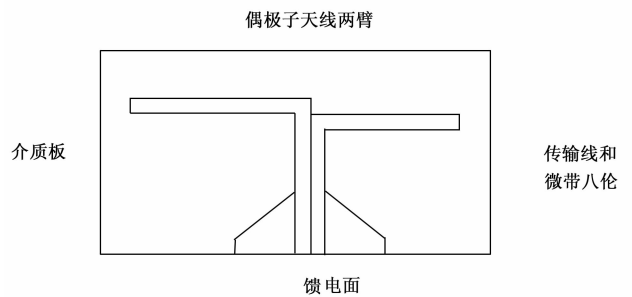


图 5 天线模型

采用的是集总端口激励, 频率设置为 3.12 GHz, 扫描频率为 300~400 MHz, 扫描类型为快速扫描。

2.2 回波损耗结果与分析

天线结构谐振频率选取的范围为 320~345 MHz, 回波损耗仿真实验结果如图 6 所示。

由图 6 可知: 当谐振频率为 320~332 MHz 的范围内曲线图呈现下降趋势, 回波损耗从 -1 dB 下将到 -23 dB; 当谐振频率为 332~345 MHz 的范围内曲线图呈现上升趋势, 回波损耗从 -23 dB 上升到 -1 dB。由此可以看出, 当谐振