

A Wideband Spiral Antenna Fed by a Microstrip Hybrid Ring with Cohesive Type Structure

LIU Zhen-guo, ZHANG Wen-xun

Radio Departement, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: In this paper, the cohesive microstrip hybrid ring to be fed in spiral antenna will be reported. Compared with traditional backed by conducting reflector spiral antenna, the distance between the radiator and reflector can be reduced to $1/7 \sim 1/8$. The antenna has a good return loss and radiation pattern.

Key words: spiral antenna; balun; hybrid ring

内聚式微带混合环馈电的宽频带平面螺旋天线

刘震国, 章文勋

东南大学 毫米波国家重点实验室, 南京 210096

摘要: 本文将内聚式微带混合环作为巴伦结构直接应用于平面螺旋天线的馈电设计。在 26% 的频带范围(1.7~2.2 GHz)内天线具有良好的阻抗和辐射特性, 而整个无线馈线结构的厚度减薄至 22 mm(约 $1/7 \sim 1/8$)。

关键词: 平面螺旋天线; 巴伦; 混合环

1 引言

平面螺旋天线由于其结构的自相似性, 原理上能在很宽的频率范围内实现圆极化波的辐射或接收, 因而获得广泛的应用。通常, 平面螺旋天线借助背腔结构实现单向辐射, 采用同轴线馈电, 需要能实现平衡-不平衡结构间转换^[1]的宽频带巴伦(balun)。巴伦结构已设计有多种形式, 包括采用共面带线和共面波导多级变换的印刷型电抗加载^[2]及外伸式混合环^[3]的巴伦结构。为了实现平面螺旋天线的单向辐射, 一般的方法是加吸收材料^[4]或加平板反射器^[5]等, 前者使效率降低; 后者不仅限制频宽, 而且平板反射器与天线辐射器的 $1/4$ 的间距又使的天线的厚度加大, 不利于小型化。文献[5]在设计平面螺旋天线时通过在介质基片上打一系列周期性孔(贯穿介质基片)以形成 PBG 材料, 并且不需要平板反射器, 实测结果表明采用 PBG 材料能有效抑制表面波而增加天线的前后比。但这种方法在加工中有一定的难度, 且在移动通信频段, 即使采用高介电常数的介质基片每个周期性孔的尺寸也在厘米量级, 而为了在介质基片上形成周期性结构必须有足够多的孔, 这样就使得介质基片的横向尺寸过大。本文则将内聚式微带混合环作为巴伦结构直接应用于平面螺旋天线的馈电, 并且调整天线辐射器的接地板与天线辐射器的间距, 使之减薄至 22 mm(约 $1/7 \sim 1/8$), 既维持了良好的宽频带性能, 又结构简洁便于实现平面印刷化。

2 内聚式微带混合环

混合环的周长为 $3I_s/2$, 其中 I_s 为中心频率的微带相波长, 四个并联分支线将环分为四段, 各段的长度和特性阻抗分别示于图 1。端口 1 通过一节 $1/4$ 波长阻抗变换器与外接的同轴电缆匹配, 信号从端口

1 输入时, 隔离端口 3 无输出, 端口 2 和端口 4 则输出等幅反相的信号, 并经由过孔 (via) 短段平行双线分别与天线两臂的馈电点相接, 端口 3 应接匹配的负载电阻, 但在图示对称结构情况下, 也可以与接地板短接使整个结构呈直流接地。混合环的 2、4 分支线向环的中心内聚, 显著减小了馈电网络所占的空间, 有利于天线阵列设计时馈电网络的布局; 其次, 调节端口 2 和端口 4 的间距即改变连接天线与巴伦的平行双线的间距, 可实现阻抗匹配。混合环微带的线宽, 可以根据天线的输入阻抗和平行双线的特性阻抗来确定。

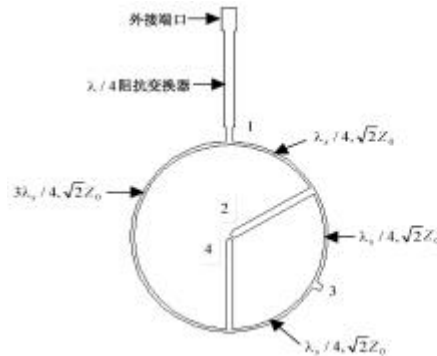


图 1 内聚式混合环结构

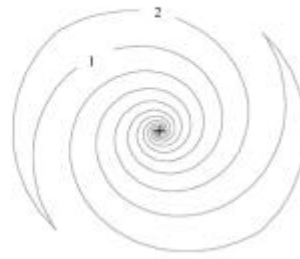


图 2 辐射器平面结构

3 平面螺旋辐射器

平面螺旋辐射器的轮廓线由等角螺旋线构成, 如图 2 所示, 其极坐标方程为: $r_1 = r_0 e^{af}$, $r_2 = r_0 e^{a(f+f_0)}$, 式中 r_1 , r_2 分别为辐射器轮廓线的内外半径, a 为螺旋率, f 为相应的幅角, r_0 为初始半径, 为了实现结构上的自身互补性, 取 $f_0 = p/2$ 。为了使螺旋天线能够辐射圆极化波, 必须满足: (1) 螺旋天线上的行波电流在行进过程中逐步平缓的衰减, 直至螺旋天线的终端理论上衰减为零, 否则, 电流将在终端被反射, 形成反方向的圆极化波, 使轴比不能满足要求; (2) 截取螺旋线长度时应保证等角螺旋天线终端的影响应尽可能小, 据此确定频带低端的波长。

4 集成的天线结构

天线采用多层介质-导体结构^[6], 其剖面图示于图 3, 其优点为: (1) 采用空气代替介质基片可以避免表面波, 从而允许采用较大的厚度来展宽阻抗频带; (2) 巴伦与辐射单元借穿过辐射器接地板的平行双线相连接, 从而避免了巴伦对辐射单元的寄生耦合, 使巴伦与辐射单元完全隔离, 因此可对巴伦与辐射单元分别进行设计; (3) 为了防止馈线的背向辐射对方向图的影响, 在馈线网络的下方置有另一块平行的接地板, 使馈线网络处于两接地板之间, 呈不对称带状线结构; (4) 辐射器印制在薄介质基片上采用倒置结构, 可起保护作用。

5 设计与结果

设计过程中:

(1) 首先确定平面等角螺旋天线的螺线半径长度 $r = r_0 e^{af}$ 使其周长约为 $1.5l$, 螺线半径长度 $r = r_0 e^{af}$ 取为 38.3 mm, 螺旋率 a 取为 0.221, 据此确定初始半径 r_0 , $f = 5.25p$;

(2) 选取奇模激励的耦合带状线作为馈线, 经由过孔 (via) 短段平行双线分别与天线两臂的馈电点相接, 又其奇模特性阻抗与天线输入阻抗匹配, 由此确定混合环 2、4 分支线的特性阻抗, 经渐变张开成两分离的带状线接入环形电桥从而确定混合环各段的结构尺寸。由于在模拟过程中, 易对耦合带状线端口尺寸进行调节, 使设计步骤得以简化。

据此所设计单元的性能达到: 在整个频率范围 (1.7~2.2 GHz) 内, 输入驻波比小于 1.65:1, 轴比 (axial ratio) 小于 1.6:1; 其中从 1.7~2.15 GHz 输入驻波比小于 1.5:1, 增益在中心频率点 1.95 GHz 为 8.9 dB, 全频带内降低不超过 0.9 dB。图 4 所示为整个频带内的回波损失, 在整个频率范围内优于 -12 dB。图 5 所示

为整个频带内的增益。混合环自身的输入驻波比，其中从 1.5~2.6 GHz 频带内输入驻波比小于 2:1，带宽达到了 53.6%。图 6 为天线阵列的轴比，在整个频率范围内小于 1.55:1。本文对平板反射器与天线辐射器的不同间距进行了模拟，发现采用图 2 所示结构时，在满足性能要求的情况下，天线辐射器与馈电结构的总厚度可以减小到 25.2 mm ($1/7 \sim 1/8$) 远小于传统设计的厚度。

一般圆极化天线只是在很小的空间角度范围内辐射圆极化波，在其他角度则辐射的是椭圆极化波或线极化波，而本文设计的平面螺旋天线能实现 $\pm 45^\circ$ 宽角范围内的圆极化波。

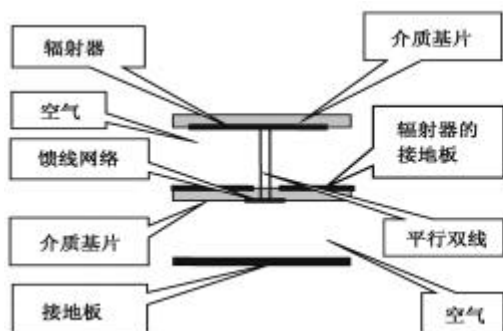


图 3 集成的天线结构

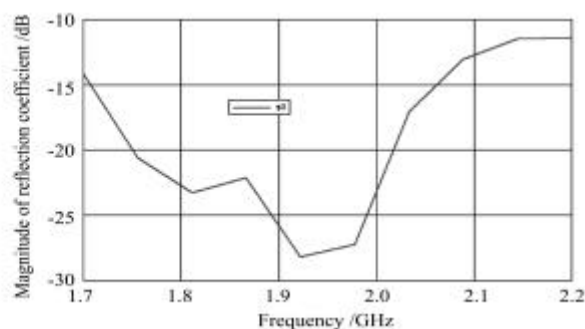


图 4 单元回波损失

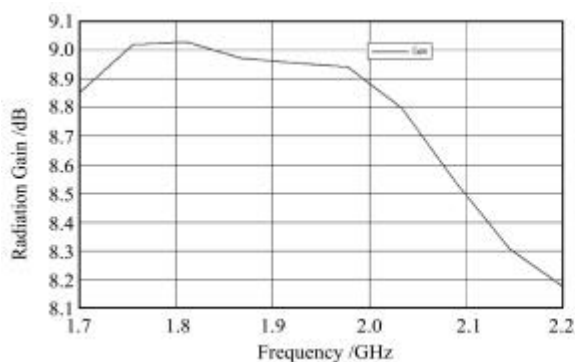


图 5 单元辐射增益

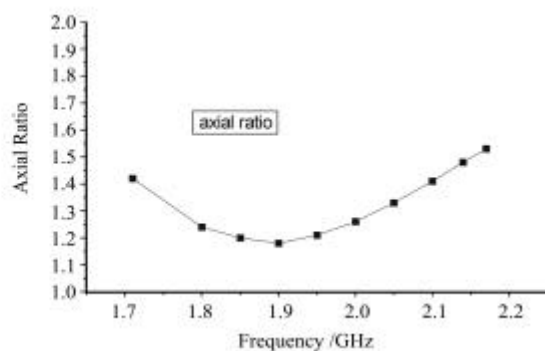


图 6 天线阵列的轴比

6 结 论

用内聚式微带混合环馈电的平面螺旋天线，具有全集成的轻、薄结构，并在宽频带范围内具有良好的阻抗和辐射特性。

参考文献

- [1] R.Bawer, J.J.Wolfe A Printed Circuit Balun for Use with Spiral Antennas. IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1960, May, pp 319-325.
- [2] M. Y. Li, Tilley, J. McCleary and K. Chang Broadband coplanar waveguide-coplanar strip-fed spiral antenna, Electronics Letters 1995 Vol.31 No.1 pp 4-5.
- [3] T. H. Liu, W. X. Zhang, M. Zhang, K. F. Tsang Low profile spiral antenna with PBG substrate, Electronics Letters 2000 Vol.36 No.9 pp 779-780.
- [4] Wang. J. H., Tripp V. K., Design of multioctave spiral-mode microstrip antenna, IEEE Transaction on AP, 1991, AP-39 pp 332-335.
- [5] Hisamatsu Nakano, Kazuo Nogami, Satoshi Arai, Hiroaki Mimaki, A Spiral Antenna Backed by a Conducting Plane Reflector, IEEE Transaction on AP, Vol. AP-34, No.6, June 1986 pp 791-796.
- [6] Jean-Francois Zurcher and Fred E. Gardiol Broadband Patch Antennas pp 129-130.