

文章编号: 2096-1618(2018)03-0232-04

# 地板作为反射器的频率重构阵列天线设计

张润林, 唐涛, 汪江宇

(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**设计了一款频率可重构阵列天线,可实现 WLAN 频段内频率连续可调。该阵列天线由 4 个平面偶极子辐射单元组成,其金属地板呈弧形,可充当偶极子阵元的反射器,提高天线的方向性。每个偶极子臂上对称放置变容二极管,通过调节变容二极管的容值,能够改变偶极子阵元谐振臂有效长度,从而调整天线谐振频点,测试结果与仿真结果较为符合,验证了设计的可行性。

**关键词:**微带天线;频率可重构;反射器;WLAN

**中图分类号:**TN823

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2018.03.002

## 0 引言

无线通信具有便捷、灵活、经济、易于扩展等优点,近年来发展迅速,在生活中得到广泛应用。但由于其通信信道的开放,传输过程中信息易泄露,用户重要信息遭到窃取的事件屡见不鲜,因此,无线通信的安全性越来越受重视。

天线作为无线传输系统发射能量的终端及接收能量的初始端,就通信安全角度出发,整个通信系统对其性能有很高的要求<sup>[1-2]</sup>。目前,定向天线和跳频技术是增加信息传输安全性的两种常用方式<sup>[3]</sup>。现阶段实现天线定向发射或接收电磁波的方式,多为在天线后端增加反射器,或者在定向端增加引向器。PaezI 等<sup>[4]</sup>提出一款八木天线,该天线顶端采用引向器,使得天线在指定方向的增益较全向工作时有明显提高。Han K 等<sup>[5]</sup>设计了一款用于 GPS 的宽频带八木天线,也使用了反射器和引向器两种方式,实现天线的定向辐射。

跳频技术可使用频率可重构天线实现。可重构天线的工作频率在一定的频带范围内具有连续或离散可调能力,同时能保持天线的辐射方向和极化等特性基本不变。Nguyen 等<sup>[6]</sup>设计了一款频率可重构天线,通过调节变容二极管容值,达到频率可重构目的。Yang 等<sup>[7]</sup>设计了一款频率可重构天线,能够实现天线工作频率在 2.6 ~ 3.35 GHz 连续可调。

文中设计了一种以地板作为反射器的频率可重构偶极子阵列天线。天线地板呈弧形,并在中间连接处和两端加载矩形枝节。弧形结构能够充当偶极子天线

的反射器。利用地板作为反射器可以在空间上降低天线体积,同时,弧形地板上加载的矩形枝节能起到降低远场方向图旁瓣和改善天线阵列的阻抗匹配等作用。

该偶极子阵列天线具有频率可重构功能,通过改变阵元辐射臂上对称设置的变容二极管两端电压,即可获得变容二极管不同的容值,不同容值可等效为改变偶极子的有效臂长,达到调整谐振频率的目的。

## 1 频率可重构偶极子阵列天线结构设计

天线阵列由 4 个阵元组成,每个阵元为一个弧形平面偶极子,在偶极子辐射臂上对称位置嵌有 2 个可用于微波频段的变容二极管。变容二极管型号为 SKYWORKS 品牌的 SMV2023-011LF,根据数据手册,该二极管加载电压为 0 V 时,具有最大容值为 12.33 pF,当加载电压为 20 V 时,具有最小容值为 1.09 pF,并且其容值在 1.09 ~ 12.33 pF 可通过改变加载电压实现连续可变。

天线介质板选用 Rogers RO4350 板材,其相对介电常数  $\epsilon_r = 3.66$ ,损耗角正切值  $\tan\delta = 0.004$ ,介质板地板敷铜,并在结构上设计呈弧形,以实现阵列反射器的功能。天线整体结构如图 1 所示,其总体尺寸为 100 mm × 100 mm × 0.508 mm,其各部位具体相关尺寸参数如表 1 所示。

## 2 弧形地板反射器及频率可重构

### 2.1 弧形金属地板加载枝节

偶极子天线的远场方向图具有 360°全向辐射特

性,由八木天线(Yagi-Uda)原理可知,为使天线在某一方  
向具有较高增益,从而实现定向辐射,可在偶极子天  
线的适当位置通过加载反射器、引向器来实现。然而

在实际设计中,反射器和引向器的尺寸和加载位置需  
要优化确定,且反射器和引向器的使用会导致天线整  
体体积增加,不易于天线的小型化。

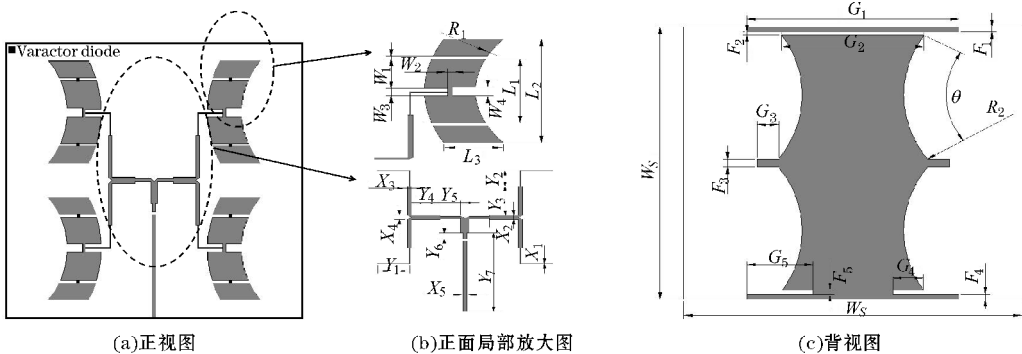


图1 天线结构示意图

表1 天线尺寸参数/mm

| 参数    | 数值   | 参数    | 数值   | 参数    | 数值   | 参数    | 数值   | 参数       | 数值  |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|----------|-----|
| $X_1$ | 0.23 | $Y_3$ | 15.2 | $W_1$ | 1    | $G_1$ | 62.6 | $F_3$    | 3   |
| $X_2$ | 2.25 | $Y_4$ | 7.75 | $W_2$ | 1.01 | $G_2$ | 42.2 | $F_4$    | 1.8 |
| $X_3$ | 1.15 | $Y_5$ | 5.38 | $W_3$ | 2.81 | $G_3$ | 6.4  | $F_5$    | 1.5 |
| $X_4$ | 2.3  | $Y_6$ | 3.18 | $W_4$ | 3.13 | $G_4$ | 9.08 | $\theta$ | 64  |
| $X_5$ | 1.15 | $Y_7$ | 41.8 | $L_1$ | 23   | $G_5$ | 19.5 |          |     |
| $Y_1$ | 8.57 | $R_1$ | 30.5 | $L_2$ | 37.2 | $F_1$ | 1.79 |          |     |
| $Y_2$ | 8.41 | $R_2$ | 43   | $L_3$ | 13.8 | $F_2$ | 1.2  |          |     |

如图1(c)所示,设计中利用金属地板的弧形结构,  
实现了反射器的功能,提高天线辐射定向性能。同时,  
对于每个阵元而言,该结构为“缺陷地”设计<sup>[8]</sup>,能有效  
展宽频带宽度,同时可降低天线等效介电常数,提高辐  
射效率。另外,弧形地板中间连接处加载有 $G_3\times F_3$ 的矩  
形枝节,该枝节对改善天线辐射方向图,防止频率重构  
时方向图畸变效果显著。地板顶部加载的 $G_1\times F_1$ 的  
矩形枝节和 $G_2\times F_2$ 的矩形缝隙,以及底部 $G_5\times F_4$ 的矩  
形枝节和 $G_5\times F_4$ 矩形缝隙均可明显降低远场方向图  
旁瓣,提高天线增益。

2.2 频率可重构

目前实现频率可重构的常见方法主要有控制辐射  
单元长度和改变馈线结构两种,文中采用的是前者的  
改进型<sup>[9-11]</sup>。如图1(a)所示,在阵列天线的每个阵元  
辐射臂的矩形缝隙处对称位置嵌入一对变容二极管来  
实现谐振频率连续可调。阵元加载可变电容器二极管  
后,当改变变容二极管的两端电压时,其电容值随之改  
变,进而等效改变了每个阵元中偶极子天线有效谐振  
臂长度,即可实现天线阵的谐振频点连续可调<sup>[12]</sup>。

在微带馈线端矩形缝隙处,接有大小100 pF的隔

直电容,其作用为当变容二极管加载的直流偏置电压  
从微带馈线引入时,避免部分直流分量反向流入馈电  
口,造成相关设备损坏,影响后端电路<sup>[13]</sup>。

3 天线仿真与测试

将变容二极管设置为不同电容值时,该阵列天线  
的回波损耗仿真结果如图2所示,其对应辐射方向图  
如图3所示,仿真结果不同电容值对应谐振点如表2  
所示。

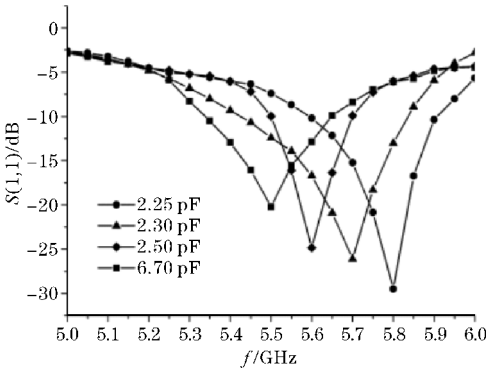


图2 各电容值对应回波损耗

| 电容\电压<br>/(pF\V) | 谐振点      |            |
|------------------|----------|------------|
|                  | 谐振频率/GHz | 实测谐振频率/GHz |
| 12.33\0.00       | 5.2      | 5.35       |
| 6.70\2.25        | 5.5      | 5.47       |
| 2.50\8.23        | 5.6      | 5.56       |
| 2.30\8.41        | 5.7      | 5.65       |
| 2.25\8.82        | 5.8      | 5.77       |

由仿真结果可知,当变容二极管的电容值从1.09 pF变化到12.33 pF时,天线的谐振点由5.8 GHz变化至5.5 GHz,且各谐振点的阻抗匹配良好,谐振深度均大于15 dB。

当天线上的变容二极管加载不同的电压时,变容二极管的容值随之改变,导致偶极子天线的有效谐振臂有效长度也随之改变。当所有二极管加载电压为0 V时,偶极子谐振臂的有效长度最长,这时的谐振频率也就最低;当二极管加载电压升高时,电容值减小,导致谐振臂的有效长度被减短,谐振点逐渐向高频方向移动。

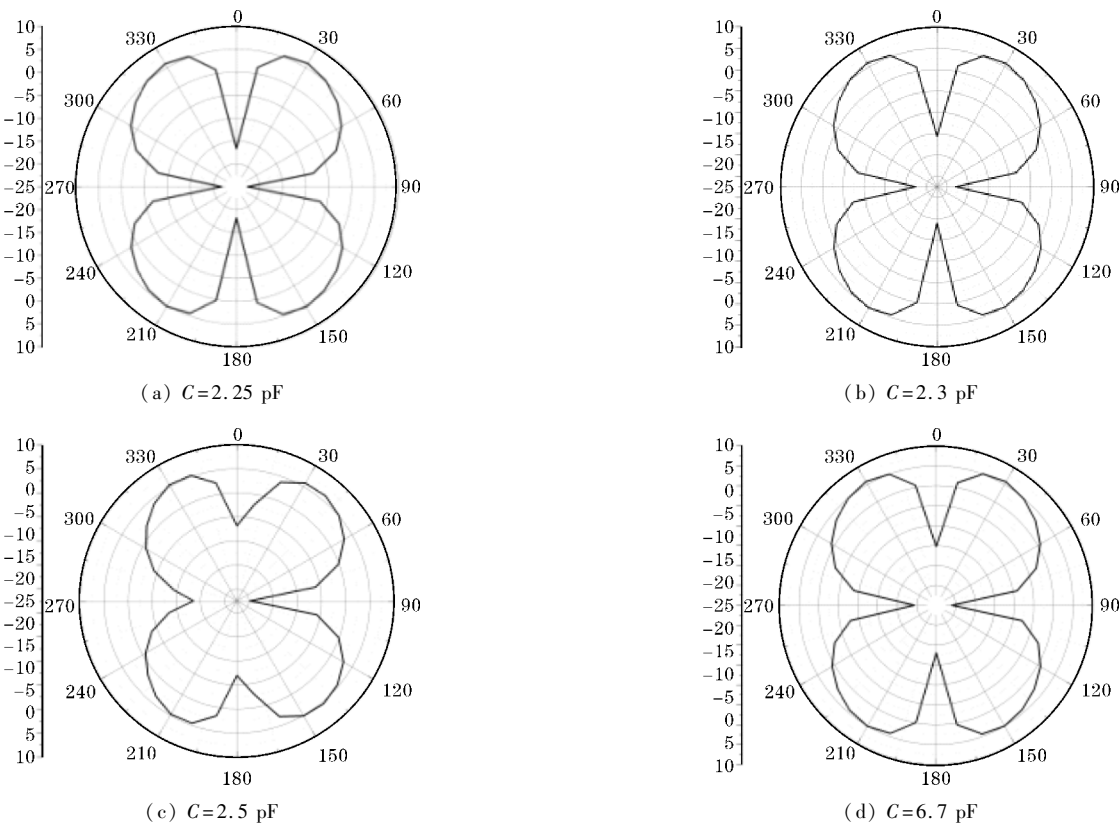


图3 不同电容值方向图

图3显示了4个工作频段时的天线辐射方向图。可见天线方向图在4个频段基本保持不变,天线在5.8 GHz处的最大增益为5.99 dB,在5.7 GHz处的最大增益为6.05 dB,在5.6 GHz处的最大增益为6.15 dB,在5.5 GHz处的最大增益为6.09 dB。

ROHDE&SCHWARZ ZVB20 矢量网络分析仪对天线进行测试,采用稳压电源对变容二极管供电,改变供电电压来调整变容二极管容值来实现天线的频率可调。测试环境如图5所示。测试实际谐振频率变化如表2所示。从表2可知,控制可变电容两端的反向偏置电压在0~8.82 V变化时,该天线在5.35~5.77 GHz内调谐,且在工作频段内阻抗匹配良好,基本符合设计预期。

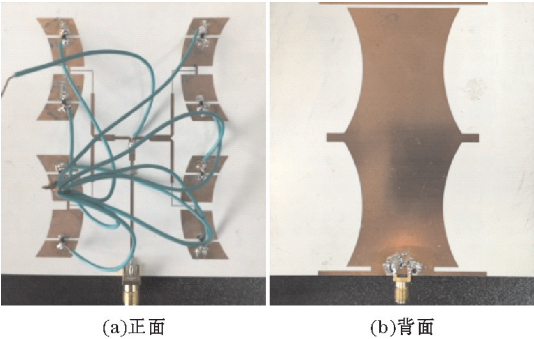


图4 天线实物图

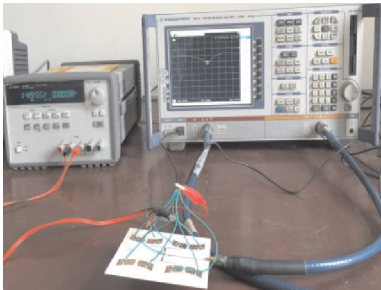


图5 天线测试环境

天线加工实物正面和背面照片如图4所示。使用

天线的实测谐振频率与仿真值存在误差,原因有以下几个方面。首先,变容二极管在相应电压下的取值存在误差,这是最主要的原因。其次,直流馈电线加载,相当于在辐射片上引入枝节。最后则是由于加工工艺有限原因,导致介电常数存在不精准情况。从测试和仿真曲线来看,天线工作频点随电压(即电容)变化的整体趋势与仿真结果吻合,满足设计要求。

## 4 结论

设计的频率可重构天线阵辐射单元采用弧形结构,利用弧形地板实现了天线阵反射器的功能,缩小了整个天线阵体积,实现了阵列小型化。并且因为采用的四元阵列结构,拥有较高的增益。该天线阵谐振频率在变容二极管的调节下可以实现 WLAN 频段内频率连续可调。频率可重构天线的性能越趋完善,有利于进一步解决无线通信安全性问题<sup>[14]</sup>,同时,为多功能、小体积、宽频带天线的设计提供了一定的参考<sup>[15]</sup>。

## 参考文献:

- [1] Stutzman W L, Thiele G A. 天线理论与设计(第2版)[M]. 朱守正, 安同一, 译. 北京:人民邮电出版社, 2006.
- [2] 陈国海. 下一代预警机雷达技术[J]. 现代雷达, 2010, 32(3): 1-4.
- [3] 刘在爽, 王坚, 孙瑞, 等. 无线通信物理层安全技术综述[J]. 通信技术, 2014, 47(2): 128-135.
- [4] Paez C I, Estrada J G, Fajardo A. Design equations for the Quasi Yagi-Uda antenna operating in the UHF band[J]. IEEE Latin America Transactions, 2016, 14(3): 1122-1128.
- [5] Han K, Park Y, Choo H, et al. Broadband CPS-fed Yagi-Uda antenna[J]. Electronics Letters, 2009, 45(24): 1207-1209.
- [6] Nguyen-Trong N, Hall L, Fumeaux C. A Frequency

- and Pattern Reconfigurable Center-Shorted Microstrip Antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016, 15: 1955-1958.
- [7] Yang S L S, Kishk A A, Lee K F. Frequency Reconfigurable U-Slot Microstrip Patch Antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008, 7: 127-129.
- [8] Kumar C, Pasha M, Guha D. Defected Ground Structure Integrated Microstrip Array Antenna for Improved Radiation Properties[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016, 16: 310-312.
- [9] 张岩, 王金灏, 张禄鹏. 可重构天线的频率可重构功能验证[J]. 中国集成电路, 2017, 26(8): 49-52.
- [10] 皇甫家昕, 刘会刚. 一种新型的波导缝隙频率可重构天线的研究与设计[J]. 半导体光电, 2017, 38(3).
- [11] 成根, 段美玲, 李文妮, 等. 频率可重构的单极子天线设计[J]. 测试技术学报, 2017, 31(2): 148-152.
- [12] Khidre A, Yang F, Elsherbeni A Z. A Patch Antenna With a Varactor-Loaded Slot for Reconfigurable Dual-Band Operation[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 63(2): 755-760.
- [13] Ye M Y, Gao P. A Novel Frequency and Pattern Reconfigurable Antenna for WiMAX and WLAN Communication Application[C]. 2015 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design. Hangzhou, 2015: 538-541.
- [14] Zhang P, Liu S, Chen R, et al. A Reconfigurable Microstrip Patch Antenna with Frequency and Circular Polarization Diversities[J]. Chinese Journal of Electronics, 2016, 25(2): 379-383.
- [15] Zhang P, Liu S, Zhao S. A novel reconfigurable microstrip patch antenna with frequency and polarization diversities[J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2015, 57(6): 1494-1500.

## Design of Frequency Reconfigurable Array Antenna with a Floor Reflector

ZHANG Run-lin, TANG Tao, WANG Jiang-yu

(College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** A frequency reconfigurable array antenna is designed, which can realize the frequency adjustable in the WLAN band. The array antenna consists of four planar dipole radiating elements and a curved floor, which can act as the array reflector to improve the antenna direction. The resonant frequency of the dipole element can be changed by adjusting the capacitance value of the varactor diode. The test results are in good agreement with the simulation results, and the feasibility of the design is verified.

**Keywords:** microstrip antenna; frequency adjustable; reflector; WLAN