

文章编号 1005-0388(2010)01-0190-05

一种方向图可重构印刷振子天线的设计

王安国 董加伟 王 鹏
(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘 要 为了在同一副天线上实现定向和全向方向图, 提出了一种方向图可重构印刷振子天线。通过控制开关的状态, 天线实现单极子和带反射器的偶极子两种工作方式, 分别实现全向和定向方向图。用 Ansoft HFSS 软件对天线尺寸进行了分析和优化。根据仿真结果对于所提出的天线进行了制作和测试, 并给出了测试结果。测试结果表明: 开关断开时, 天线带宽为 2.09~2.44 GHz; 开关闭合时, 天线带宽为 2.64~2.94 GHz。

关键词 方向图; 可重构天线; 印刷振子

中图分类号 TN82

文献标志码 A

1. 引 言

伴随着无线通信技术的迅速发展, 频谱资源和空间资源变得越来越紧张, 如何有效、合理地利用有限的频谱资源和空间资源显得愈加重要。为满足这种日益增长的需求, 实现通信系统的大容量、多功能、超宽带^[1], 人们适时提出了可重构天线的概念^[2-3]。近年来, 可重构天线受到人们越来越多的重视, 该方面的研究已经成为天线领域一个新的热点^[4-5]。方向图是天线的重要特性之一, 充分利用天线的方向图可重构特性, 可以避免噪声干扰, 提高系统增益和安全性, 同时定向辐射信号可以节约能量^[6]。

方向图可重构天线主要是通过使用可变长度的寄生元件来实现^[7-8]。目前, 国内外有关方向图可重构天线的设计大多数采用波瓣形状不变, 而改变主瓣角度的方式^[9-11]。但是, 在同一副天线上实现定向和全向两种方向图的可重构天线不多。然而, 这种方向图可重构印刷振子天线在改变开关工作状态的情况下, 能够实现定向和全向两种方向图。这种天线可以应用在不同的无线通信场合, 根据实际通信环境的变化实时选择合适的方向图以提高无线通信系统的性能。

2. 天线设计及分析

如图 1 所示, 单极子天线的方向图为全向(yoz

面), 带有反射器的偶极子天线的方向图为定向(xoz 面), 引入三个开关, 通过改变三个开关的状态形成可重构天线。因此, 天线也是由单极子、带有反射器的偶极子和开路短截线构成, 天线结构正面图

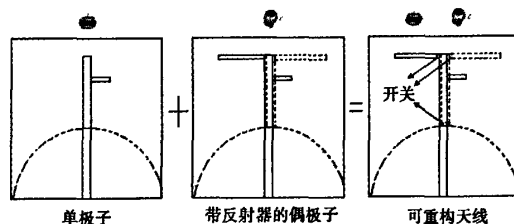


图 1 可重构天线的形成

和背面图如图 2(a)和图 2(b)所示。天线介质基板选择相对介电常数为 $\epsilon_r = 2.65$, 厚度为 $h = 0.8$ mm, 损耗正切角 $\tan\delta \leq 0.001$ 的聚四氟乙烯板。天线的平面尺寸为 54×54 mm²。50Ω 的 SMA 连接器作为同轴探针与微带馈线相连接。微带线的特性阻抗设计为 50 Ω, 对应的微带线宽度可根据经验公式($w/h > 1$)

$$Z_0 = \frac{Z_f}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}} \left(1.393 + \frac{w}{h} + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right)}} \quad (1)$$

式中: Z_f 为自由空间的波阻抗; ϵ_{eff} 为有效介电常数;

收稿日期: 2009-06-02

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助(2007CB310605)

联系人: 董加伟 E-mail: dongwei1895@163.com

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

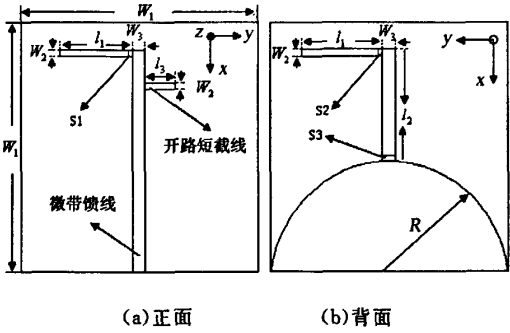


图 2 天线结构图

S_{11} ~ S_{33} 为三个 RF-MEMS 开关,在测试和仿真过程中,使用铜片代替 RF-MEMS 开关进行设计、验证。所设计天线的特性采用 Ansoft HFSS 10.0^[12]进行了分析和研究。下面分析开路短截线、偶极子臂宽与臂长、馈线宽度等物理参数对天线 S 参数的影响。

为了更好地改善天线的 S_{11} 参数^[13],使天线匹配效果更好,在天线设计中引入了一个开路短截线。对于开路短截线的作用,分别针对定向和全向两种工作状态下的 S_{11} 参数进行了比较,结果如图 3 所示。由图 3 可知,引入开路短截线之前, S_{11} 参数最低点分别为-16.05 dB 和-22.37 dB;引入开路短截线之后, S_{11} 参数最低点分别降到-29.1 dB 和-31.97 dB,说明开路短截线能有效地改善天线的匹配。

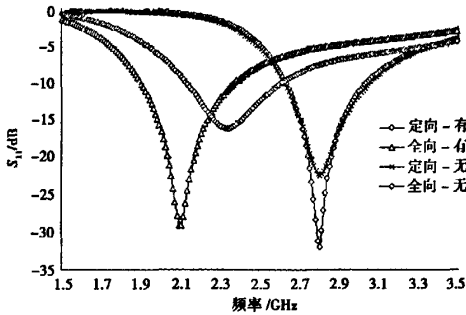
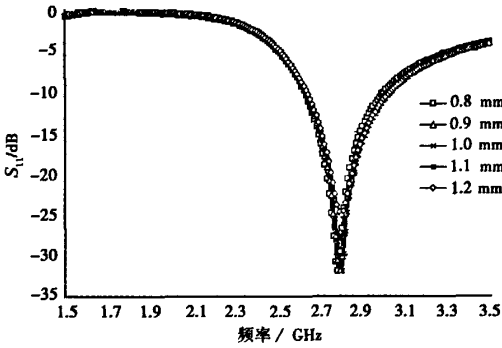


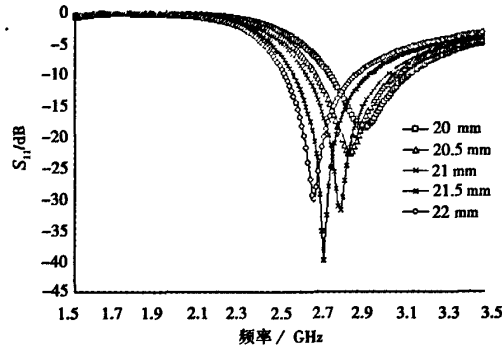
图 3 开路短截线引入前后, S 参数的仿真结果

天线结构参数 W_2 、 W_3 、 l_1 是天线尺寸中比较关键的物理参数,下面分析这几个参数对天线 S_{11} 参数的影响。在保持其余参数不变的情况下,改变 W_2 、 W_3 、 l_1 中的一个参数,考察其对 S_{11} 参数的影响(天线方向图定向时),仿真结果如图 4 所示。从

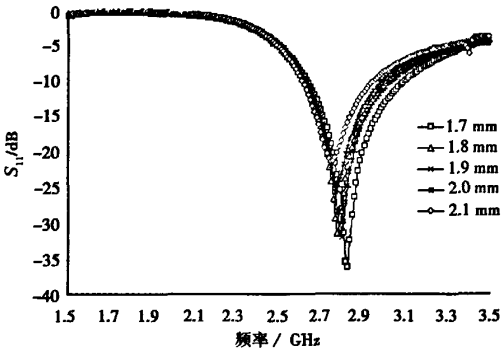
图 4 可以看出,偶极子臂宽对 S_{11} 参数的影响比较小,而偶极子臂长以及馈线宽度对天线 S_{11} 参数的影响较明显。图 4(b)的结果表明,随着偶极子臂长的增加,天线谐振频率在不断地降低,而-10 dB 带宽变化不大。从图 4(c)的结果可以发现,天线馈线宽度对阻抗匹配有一定的影响,馈线宽度从 1.7 mm 增加到 2.1 mm 的过程中,天线的匹配变差,天线谐振频率有所降低。



(a) 偶极子臂宽对 S 参数的影响



(b) 偶极子臂长对天线 S 参数的影响



(c) 馈线宽度对天线 S 参数的影响

图 4 不同结构参数对天线 S 参数的影响

根据公式(1)和(2)计算的微带线宽度为近似值,最终通过仿真确定的各参数的值为 $W_1 = 54$

mm, $W_2 = 1$ mm, $W_3 = 1.9$ mm, $l_1 = 21$ mm, $l_2 = 21.8$ mm, $l_3 = 8.5$ mm, $R = 27$ mm。RF-MEMS 开关 S1 和 S2 的尺寸为 0.4 mm \times 1 mm, S3 尺寸为 0.4 mm \times 1.9 mm。

3. 仿真和测量结果

根据软件仿真优化的结果,对天线原型进行了加工制作。之后,使用 Agilent 矢量网络分析仪 E5071B(频率范围为 300 kHz~8.5 GHz)以及远场方向图测试系统对天线特性进行了测试。

图 5 给出了天线 S_{11} 参数的仿真结果和测试结果。从图 5 的测试结果可以看出:天线开关全部断开时,天线-10 dB 带宽为 2.09~2.44 GHz;开关全部闭合时,天线带宽为 2.64~2.94 GHz。天线谐振点 2.27 GHz 和 2.78 GHz 处的 S_{11} 值分别为 -29.75 dB 和 -26.08 dB。

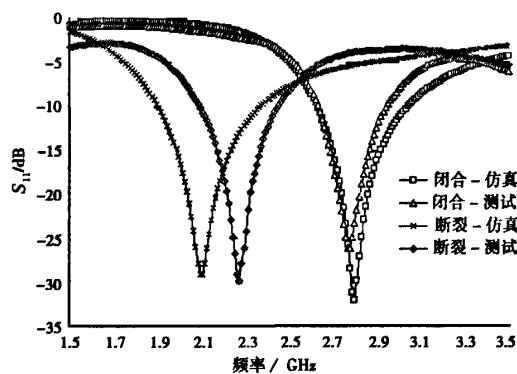
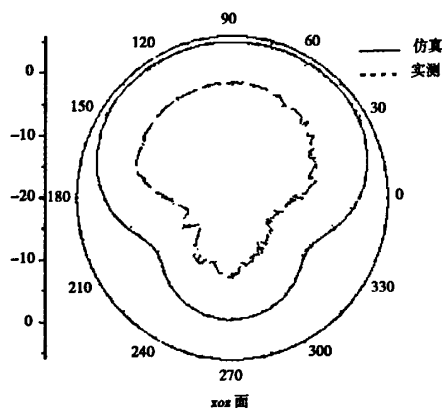
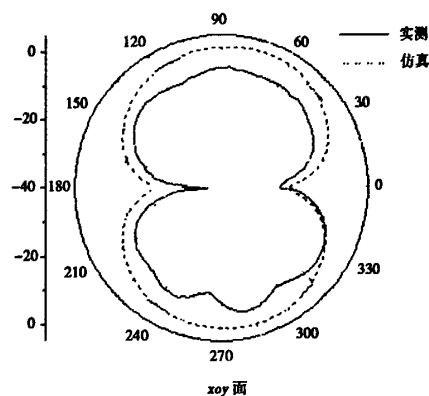


图 5 天线 S 参数的测试与仿真结果

改变开关的工作状态,可以实现方向图的可重构特性。三个开关全部闭合时,天线实现带反射器的偶极子,其方向图为准定向,如图 6(a)所示;三个开关全部断开时,天线为单极子天线,方向图为准全向,如图 6(b)所示。



(a) 定向 2.8 GHz 的方向图



(b) 全向, 2.2 GHz 的方向图

图 6 天线仿真和测试方向图

4. 结论

提出了一种带有开路短截线的方向图可重构印刷振子天线,给出了天线的结构及参数,研究并分析了开路短截线、偶极子臂宽与臂长、馈线宽度等物理参数对天线性能的影响。根据仿真优化的尺寸,对天线原型进行了制作和测试。测试和仿真结果表

明,该天线实现了方向图定向辐射和全向辐射。方向图和 S_{11} 参数的仿真结果与测试结果基本吻合。

该天线工作在 2.09~2.44 GHz 和 2.64~2.94 GHz,覆盖很多重要的无线通信波段。因此,该天线在无线通信系统中有很好的应用潜力。可应用在不同的无线通信场合,根据通信环境的变化选择合适的方向图,以有效地提高通信系统的性能。

参考文献

- [1] 肖绍球,王秉中. 微带可重构天线的初步探讨[J]. 电波科学学报,2002,17(4):386-390.
XIAO Shao qiu, WANG Bing zhong. Preliminary research on microstrip reconfigurable antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2002, 17(4):386-390. (in Chinese)
- [2] SCHAUBERT D, FARRAR F, HAYES S, et al. Frequency-agile, polarization diverse microstrip antennas and frequency scanned arrays, US Patent #4,367,474,1983, Jan(4).
- [3] SMITH J K, Reconfigurable program (RECAP), DARPA (美国国防高级研究计划署),1999.
- [4] 王安国,张佳杰,王 鹏,等. 可重构天线的研究现状与发展趋势[J]. 电波科学学报,2008,23(5):997-1002,1007.
WANG Anguo, ZHANG Jiajie, WANG Peng, et al. Recent research and developing trends of reconfigurable antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(5):997-1002,1007. (in Chinese)
- [5] 李 勇,江 晖,王孝义,等. 一种宽带双极化印刷振子天线的设计[J]. 电波科学学报,2008,23(6):1183-1187.
LI Yong, JIANG Hui, WANG Xiaoyi, et al. Design of broadband dural-polarized printed dipole antenna [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(6):1183-1187. (in Chinese)
- [6] KANG W S, PARK J A, YOON Y J. Simple reconfigurable antenna with radiation pattern [J]. Electronics Letters, 2008,44(3):182-183.
- [7] ZHANG S, HUFF G H, FENG J, et al. A pattern reconfigurable microstrip parasitic array [J] IEEE Transaction Antenna and Propagation, 2004,52(10):2773-2776.
- [8] YANG X S, WANG B Z, WU W X. Pattern reconfigurable patch antenna with two orthogonal quasi-Yagi arrays, [C]//IEEE Antenna Propagat. Int. Symp., July 2005:617-620.
- [9] YANG X S, WANG B Z, ZHANG Y. Pattern reconfigurable quasi-yagi microstrip antenna using a photonic band gap structure, [J]. Microw. Opt. Technol. 2004,42(4):296-297.
- [10] NIKOLAOU S, PONCHAK G E PAPAPOLYMEROU J, et al. Design and development of an annular slot antenna (ASA) with a reconfigurable radiation pattern [C]//Asia-Pacific Microwave Conference, Suzhou(CN),December 2005, Vol. 5.
- [11] FUSCO V F, LI R. Beam-switched rhombic antenna [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 29(2):2001:84-86.
- [12] Ansoft HFSS (Version 10.0), Ansoft Corporation.
- [13] MIRKAMALI A, HALL P S, SOLEIMANI M. Wideband reconfigurable printed dipole antenna with harmonic trap[C]// Antenna Technology Small Antennas and Novel Metamaterials, 2006 IEEE International Workshop, 2006:188-191.



王安国 (1958—),男,山西人,天津大学电子信息工程学院教授,博士,中国电子学会高级会员。在国内外学术刊物与会议上发表学术论文40余篇。主要研究方向为通信系统理论、天线理论与设计、射频电路分析与设计。



董加伟 (1985—),男,山东人,天津大学电磁场与微波技术专业硕士生,主要研究天线理论与设计及可重构天线实现方法。



王 鹏 (1985—),男,天津人,天津大学电磁场与微波技术专业硕士生,主要研究方向为天线理论及可重构天线实现方法。

Design of printed dipole antenna with reconfigurable radiation pattern

WANG An-guo DONG Jia-wei WANG Peng

(School of Electronic and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract In order to obtain directional pattern and omnidirectional pattern in one antenna, a printed dipole antenna with reconfigurable radiation pattern is proposed in this paper. By controlling the states of the switches, the antenna can be operated as a monopole antenna with omnidirectional pattern or a dipole antenna with reflector of directional pattern. The effects of the antenna dimensions on the antenna performance are analyzed using a commercial software package called Ansoft HFSS, and then the optimized parameters are presented. The antenna is fabricated and tested. The measured results are presented, which shows the bandwidth is 2.09~2.44 GHz at the switch“off” state and 2.64~2.94 GHz at the switch“on” state.

Key words radiation pattern; reconfigurable antenna; printed dipole

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>