

方向图可重构宽带准八木天线的设计

王安国，刘楠，兰航

(天津大学电子信息工程学院，天津 300072)

摘要：为了满足新型无线通信系统的需要，设计了一种宽带方向图可重构准八木天线。可重构准八木天线以基本准八木天线的结构为基础，在基本准八木天线结构的设计中，激励振子的两臂分别印制在介质板两侧，从而简化了馈电结构，减小了天线尺寸。该天线具有宽频带及工作频带上增益变化相对较小等优点。控制开关的通断状态，天线在 xoy 面的方向图可以分别指向 4 个方向。用电磁仿真软件对所提出的天线结构进行了分析与优化，并对所设计的天线进行了实际制作和测试，测试与仿真结果吻合较好，验证了该天线的可行性。

关键词：可重构天线；方向图；准八木天线；宽频带

中图分类号：TN82 文献标志码：A 文章编号：0493-2137(2011)10-0872-06

Design of Broadband Quasi-Yagi Antenna with Pattern Reconfigurability

WANG An-guo, LIU Nan, LAN Hang

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

Abstract: To meet the requirement of new wireless communication systems, a broadband quasi-Yagi antenna with pattern reconfigurability was presented. The reconfigurable quasi-Yagi antenna was designed based on the prototype of the quasi-Yagi antenna. The two arms of the driver dipole in the antenna prototype were printed separately on the opposite sides of the dielectric substrate. The feed structure of the antenna was simplified and the size of antenna was reduced. The impedance bandwidth of the proposed antenna was excellent, and the gain variation within operating bandwidth was relatively small. By controlling the states of the switches, the main beam of the proposed antenna in the xoy plane could be shifted to each one of four angles. Using the full-wave electromagnetic simulator, the parameters of antenna were analyzed and optimized. The antenna was fabricated and measured. The simulation results were in good agreement with the measurement results, which demonstrated the validity of the proposed antenna.

Keywords: reconfigurable antenna; pattern; quasi-Yagi antenna; broadband

随着综合通信系统的快速发展，作为信息出入通道的天线数量也会相应增加，从而增加了综合信息系统的成本及质量，并且在多天线系统中，天线之间存在电磁耦合。可重构天线的应用可以有效提升通信系统的性能^[1-2]。随着高性能、低功耗的微电子机械(micro-electro-mechanical systems, MEMS)开关的出现，目前可重构天线研究得以快速发展。其中方向图可重构天线能根据通信环境的变化实时改变发射和接收天线的方向图，从而有效避免噪声干扰，提高系统增益和安全性。另外，方向图可重构天线一般使用一个或很少几个馈电端口，可以避免信号合成过程中

的损耗^[3]。

对于方向图可重构天线的设计，目前多数设计是在天线的辐射贴片上加载 MEMS 或 PIN(positive-intrinsic negative)开关，这必然会对天线的辐射性能造成影响。有的设计在实现方向图可重构的同时，阻抗带宽较窄，不能满足现代无线通信系统的需要^[4-7]。

笔者以准八木天线为基础，设计了一种方向图可重构的准八木天线。通常准八木天线的有源振子处于介质板的同一侧，需要一个巴伦以实现电流反向。本设计将有源振子中的一个激励臂与接地板相连，充分利用地板上电流的特性，省去了复杂的巴伦，简化了

收稿日期：2010-05-25；修回日期：2011-03-10。

基金项目：国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2007CB310605)。

作者简介：王安国（1958—），男，博士，教授，agwang@tju.edu.cn。

通讯作者：刘楠，nan.liu@126.com。

天线结构。该天线可以通过控制开关的通断，分别实现方向图在 xoy 平面的 4 个指向；同时，天线具有较大的阻抗带宽和频带内增益变化较小等特点。

1 天线设计原理与结构

1.1 准八木天线的原理

印制准八木天线与传统的八木天线结构类似，都是由一根有源振子（激励振子）、反射器和若干无源振子组成。有源振子通常为半波长的偶极子或折合偶极子；无源振子由若干根比有源振子短的引向器组成，同时引向器也是一个输入阻抗匹配元件；反射器通常在有源振子的背面，为部分接地结构。有源振子、引向器和反射器互相平行。准八木天线与传统八木天线最大的不同就是用微带接地板替代了振子反射器。准八木天线克服了八木天线的缺点，不但结构简单、增益高，而且还具有较大的阻抗带宽，目前已经成为人们研究的热点^[8-10]。

图1 为一个传统准八木天线的结构图。天线需要一个微带线到共面带线的转化。微带线的两臂相差半波长，以使有源振子两臂的输入端有等幅、反向的电流形成差模激励，实际上起一个宽带巴伦的作用，使天线实现定向的方向图。如果电流幅度不等，会造成方向图的畸变；如果电流同向，会造成在空间中的电磁波相互抵消，使匹配性能和辐射效率大大降低^[11]。但是由于存在反相器，不仅使得天线结构复杂，而且反相器与地板之间的电磁耦合严重影响了天线的性能，笔者针对这种情况提出了改进方案。

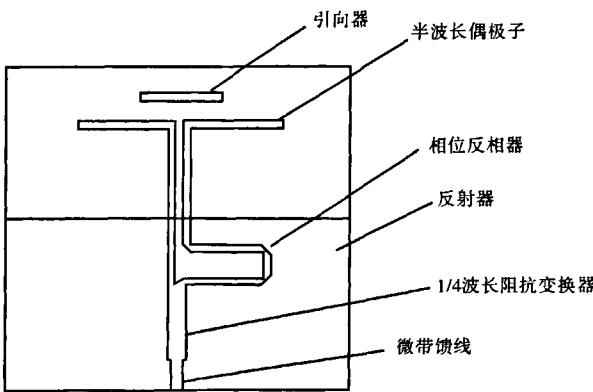


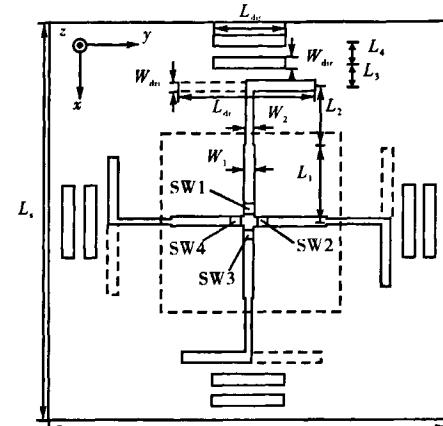
图1 传统的准八木天线的结构示意

Fig.1 Structure of common quasi-Yagi antenna

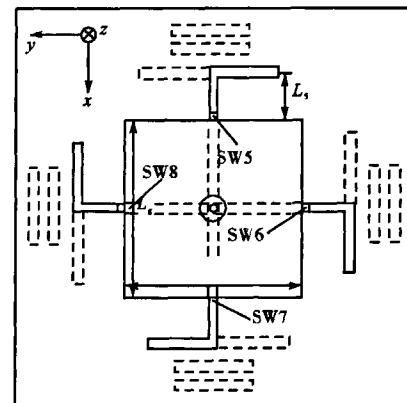
1.2 可重构准八木天线的设计

根据准八木天线设计原理，所设计的可重构准八木天线如图2所示。

该天线由 4 个基本的准八木天线组成。介质板



(a) 正面



(b) 背面

图2 可重构准八木天线的结构

Fig.2 Structure of reconfigurable quasi-Yagi antenna

$(L_s \times L_s)$ 的正面为激励振子的一臂，激励振子的另一臂印制在介质板的背面。4 个基本天线共用一个接地平面 $(L_g \times L_g)$ 作为反射器。每个基本天线同时包括两个尺寸相同的引向器，两条平行的带线印制在介质板正反两侧与激励振子的两臂相联。在天线正面，微带线的电流与地板电流相反，从而不需反相器就可以达到差模激励的效果，不仅简化了结构、减小了尺寸，而且更加提高了天线的性能。

天线的馈电方式为单端口背馈。激励振子 L_{dri} 设为 $0.5\lambda_{eff}$ ，引向器 L_{dir} 约为 $0.45\lambda_{eff}$ ， λ_{eff} 代表谐振频率时的有效波长，激励单元与引向器的距离 L_s 为 $0.1\lambda_{eff} \sim 0.2\lambda_{eff}$ ，谐振频率时的有效波长为

$$\lambda_{eff} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff} f_r}} \quad (1)$$

式中： c 为光速； f_r 为天线的谐振频率； ϵ_{eff} 为有效介电常数，根据文献[9]

$$\epsilon_{eff} \approx \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (2)$$

式中 ϵ_r 为介质板的相对介电常数。

理论上振子宽度 W (W_{dri} 和 W_{dir}) 应为^[12]

$$W = \frac{c}{f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (3)$$

但根据工程经验, 通常取振子宽度 $W \approx 0.1 \lambda_{\text{eff}}$ 。

本文中设计的天线工作频率为 5.5 GHz, 但根据实际需要, 可以改变天线尺寸, 使天线工作于其他频率。介质板选用介电常数 ϵ_r 为 2.65、厚度为 0.8 mm 的聚四氟乙烯, 微带馈线的特性阻抗设为 50Ω 。在介质板正面, 微带馈线通过 4 个开关 (SW1, SW2, SW3, SW4) 与馈电点相连; 在介质板背面, 激励振子的另一臂通过 4 个开关 (SW5, SW6, SW7, SW8) 与地板相连。开关 SW1, SW2, SW3, SW4 的尺寸均为 $1.8 \text{ mm} \times 1.8 \text{ mm}$, 开关 SW5, SW6, SW7, SW8 的尺寸均为 $1.4 \text{ mm} \times 1.4 \text{ mm}$ 。在仿真中, 微电子机械开关可用通断的金属片代替用以证明概念。通过电磁仿真软件对天线的结构参数进行优化, 可得到具体参数为: $W_1 = 1.8 \text{ mm}$, $W_2 = 1.4 \text{ mm}$, $L_1 = 14 \text{ mm}$, $L_2 = 10.6 \text{ mm}$, $L_3 = 4.1 \text{ mm}$, $L_4 = 4 \text{ mm}$, $L_5 = 8.6 \text{ mm}$, $L_{\text{dri}} = 23.6 \text{ mm}$, $W_{\text{dri}} = 1.8 \text{ mm}$, $L_{\text{dir}} = 13 \text{ mm}$, $W_{\text{dir}} = 2 \text{ mm}$, $L_g = 32 \text{ mm}$, $L_s = 72 \text{ mm}$ 。

2 仿真测试结果与分析

根据仿真模型对天线进行制作和测试, 图 3 为天线的实物照片。

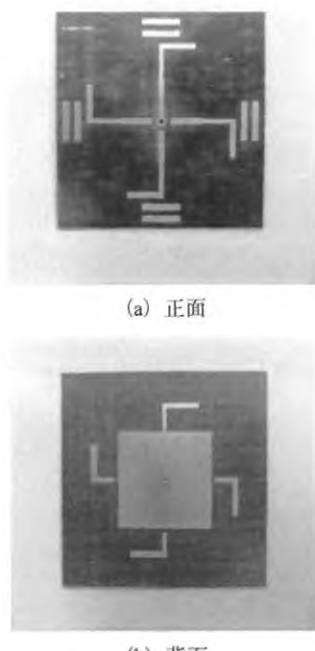


图 3 天线的实物照片

Fig.3 Photograph of proposed antenna

2.1 测试与仿真结果

将 SW1 和 SW5 闭合, 其他开关断开称为状态 1; SW2 和 SW8 闭合, 其他开关断开称为状态 2; SW3 和 SW7 闭合, 其他开关断开称为状态 3; SW4 和 SW6 闭合, 其他开关断开称为状态 4; 各状态完全对称, 各状态 S_{11} 参数曲线也完全相同。测试采用 Agilent E5071B 型网络分析仪, 图 4 所示为天线仿真与测试 S_{11} 参数。从图 4 中可看出, 仿真的工作带宽 ($S_{11} < -10 \text{ dB}$) 为 2.01 GHz (4.78 ~ 6.79 GHz), 相对带宽达到 34.7%, 在 5.87 GHz 时, $S_{11} = -41 \text{ dB}$; 测试中带宽为 1.70 GHz (4.87 ~ 6.57 GHz), 相对带宽为 29.7%, S_{11} 最小值小于 -30 dB , 仿真与测试结果较为吻合。

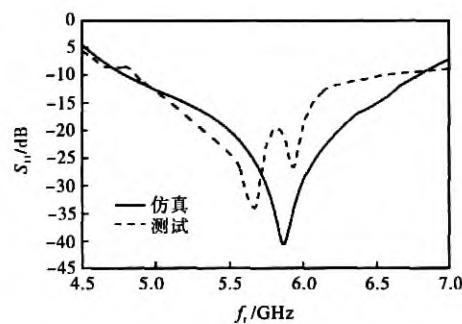


图 4 天线的仿真与测试的 S_{11} 参数

Fig.4 Simulated and measured S_{11} for proposed antenna

图 5 为天线 5.87 GHz 时, 4 种状态仿真与测试的方向图 (xoy 面)。由图 5 可以看出, 该天线的方向图有较大的增益和较小的后瓣。在仿真时, 天线的 4 种状态主瓣分别指向 182° 、 92° 、 2° 、 272° , 3 dB 波束宽度为 70° , 通过控制 8 个开关的状态, 选择性地对 4 个天线单元进行馈电, 从而改变天线的电流分布, 使天线的方向图依次偏转 90° , 实现方向图可重构的目的。测试时, 方向图的主瓣与仿真结果吻合较好, 由于微波暗室密封不严导致后瓣与仿真略有不同。此外, 天线的交叉极化较小。

图 6 为 5.87 GHz 时天线状态 1 在 xoz 面仿真的方向图。图 7 为在 xoy 面天线状态 1 在 4.78 GHz 和 6.79 GHz 时仿真与测试的方向图。由此可见, 天线在全频带上都能辐射定向的方向图, 通过控制开关的状态, 天线可以在全频带上实现可重构。

图 8 为天线在工作频带上的增益仿真与测试结果。在工作频带上, 天线的仿真增益变化稳定, 最大值为 7.1 dB, 最小值为 5.9 dB, 变化量为 1.2 dB, 并且天线增益的测试与仿真结果吻合较好。

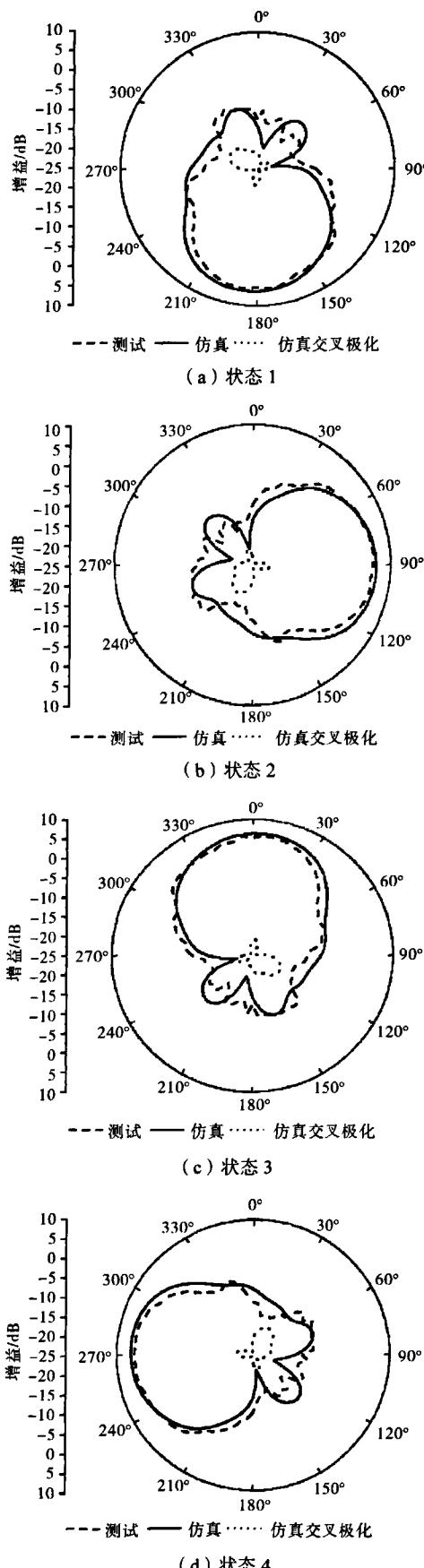


图 5 5.87 GHz 时在 xoy 面仿真与测试的方向图

Fig.5 Simulated and measured 2D radiation patterns at 5.87 GHz in xoy

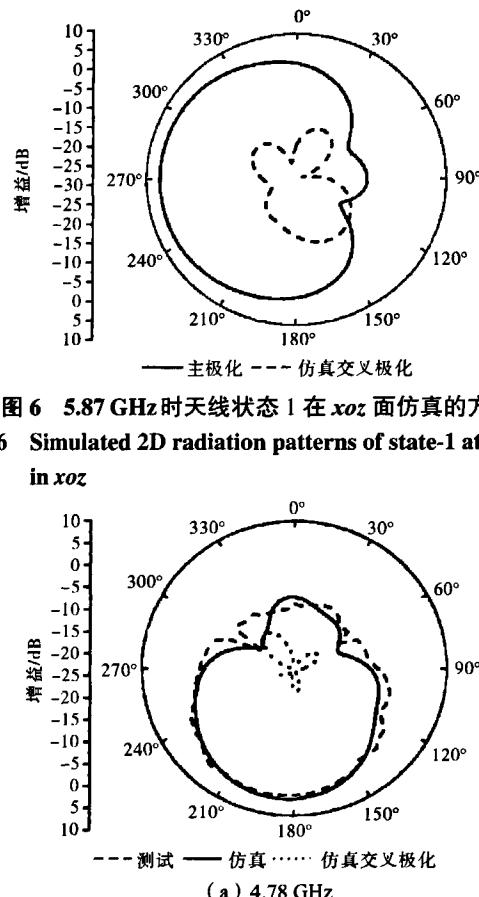


图 6 5.87 GHz 时天线状态 1 在 xoz 面仿真的方向图

Fig.6 Simulated 2D radiation patterns of state-1 at 5.87 GHz in xoz

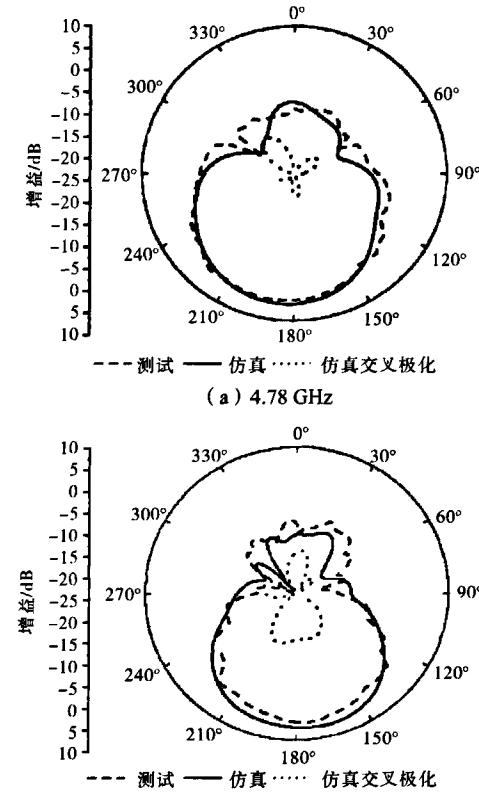


图 7 4.78 GHz 和 6.79 GHz 时天线状态 1 在 xoy 面仿真与测试的方向图

Fig.7 Simulated and measured 2D radiation patterns of state-1 at 4.78 GHz and 6.79 GHz in xoy

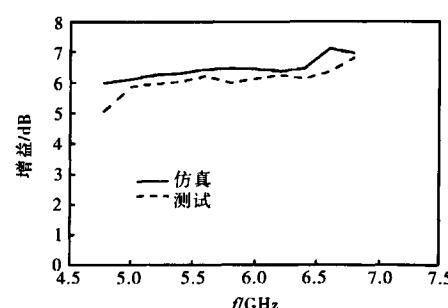


图 8 天线的增益仿真与测试结果

Fig.8 Simulated and measured gain of antenna

2.2 参数分析

研究发现, 地板尺寸 L_g 对天线的性能影响尤为突出。 L_g 的变化, 使地板上的电流分布变化, 从而影响天线的匹配性能与辐射性能。而且由于地板是反射器, L_g 的变化使反射器的尺寸变化, 反射器到激励单元的距离也相应变化, 也对天线性能产生了影响。图 9 为其他参数(L_s 除外)一定时, L_g 变化对带宽的影响。从图 9 中可以看出, L_g 变化对天线的带宽与匹配性能有较大影响。当 L_g 从 28 mm 增大到 32 mm 时, 天线的带宽与匹配性能变好, 谐振频率增加; 但当 L_g 为 34 mm 时, 天线的带宽与匹配性能又变差, 谐振频率也增加。 L_g 为 32 mm 时, 天线能达到最优的匹配性能 (S_{11} 最小值小于 -40 dB) 和带宽 (4.78 ~ 6.79 GHz)。

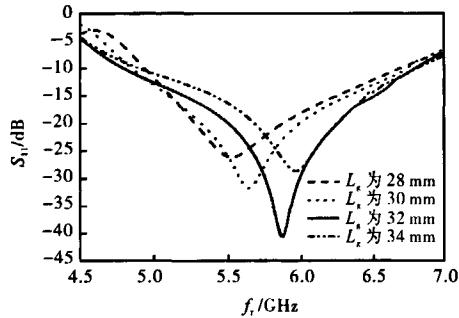


图 9 地板尺寸对带宽的影响
Fig.9 Influence of ground's size on bandwidth

图 10 为在 5 ~ 6.7 GHz 时, 当 L_g 变化时的增益变化。当 $L_g = 32$ mm 时, 天线的增益变化较小, 且增益较大。图 11 为在 5 ~ 6.7 GHz 时, L_g 变化对天线后瓣的影响。后瓣应越小越好, L_g 为 34 mm 时, 在频带大部分范围内能保持较小的后瓣, 但后瓣变化过大; L_g 为 32 mm 时, 后瓣大小居中且变化较小。

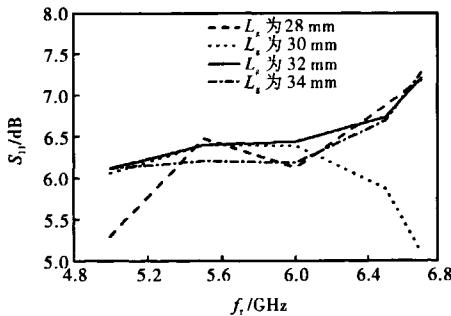


图 10 地板尺寸对增益的影响
Fig.10 Influence of ground's size on gain

从分析结果可以看出, 接地板尺寸 L_g 的大小对于天线诸多性能有较大影响。在选择接地板尺寸 L_g 时, 应综合考虑几方面因素。本设计选择 $L_g =$

32 mm, 可以达到较好的性能(带宽、匹配、增益、后瓣)。

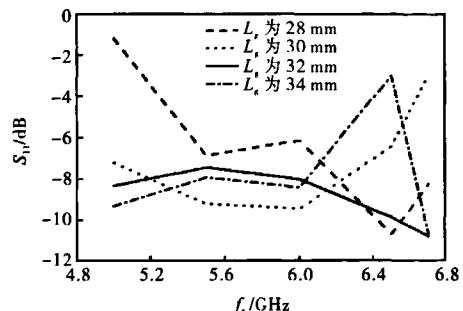


图 11 地板尺寸对后瓣的影响
Fig.11 Influence of ground's size on backlobe

3 结语

提出了一种方向图可重构宽带准八木天线。其在结构上由 4 个基本的准八木天线单元组成, 且共用一个接地板。对天线结构进行了理论分析, 并用电磁仿真软件对天线的结构尺寸进行了优化。随后对天线的频率带宽和方向图进行了仿真与测试, 实测与仿真结果吻合较好。该天线具有结构简单、带宽较大、增益变化稳定等特点。通过对开关通断状态的转换, 天线的主波瓣方向能在宽频带内依次偏转 90°, 从而指向 4 个方向, 该天线结构在新型无线通信系统中有很好的应用潜力。

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 Shaoqiu, Wang Bingzhong. Preliminary research on microstrip reconfigurable antenna[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2002, 17(4): 386-390 (in Chinese).
- [2] 杨雪松, 王秉中. 可重构天线的研究进展[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(4): 417-421.
Yang Xuesong, Wang Bingzhong. Research on the reconfigurable antennas[J]. *Systems Engineering and Electronic*, 2003, 25(4): 417-421 (in Chinese).
- [3] 张泳. 方向图可重构平面分形天线设计[D]. 成都: 电子科技大学物理电子学院, 2006.
Zhang Yong. Design of Pattern-Reconfigurable Planar Fractal Antennas[D]. Chengdu: School of Physical Electronics, University of Electronics Science and Technology of China, 2006 (in Chinese).
- [4] 王安国, 张佳杰, 王鹏. 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): 997-1003.
- Wang Anguo, Zhang Jiajie, Wang Peng. Recent research and developing trends of reconfigurable antenna[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2008, 23(5): 997-1003 (in Chinese).
- [5] Kang W S, Park J A, Yoon Y J. Simple reconfigurable antenna with radiation pattern[J]. *Electronics Letters*, 2008, 44(3): 182-183.
- [6] Deo P, Mehta A, Mirshekar-Syahkal D, et al. An HIS-based spiral antenna for pattern reconfigurable applications[J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2009, 8: 196-199.
- [7] Yang Xuesong, Wang Bingzhong, Zhang Yong. A reconfigurable Hilbert curve patch antenna [C]//*IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2005: 613-616.
- [8] Deal W R, Kaneda N, Sor J, et al. A new quasi-Yagi antenna for planar active antenna arrays[J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2000, 48(6): 910-918.
- [9] Kan H K, Waterhouse R B, Abbosh A, et al. Simple broadband planar CPW-Fed quasi-Yagi antenna[J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2007, 6: 18-20.
- [10] Zha Guohua, Hong Wei, Wu Ke, et al. Printed quasi-Yagi antenna fed by half mode substrate integrated Waveguide[C]//*Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference*. Macau, China, 2008: 1-4.
- [11] 王金洪, 王志刚, 延波. 基于LCTT技术的Ka波段印制振子阵列天线[J]. 电波科学学报, 2010, 25(1): 139-141.
- Wang Jinhong, Wang Zhigang, Yan Bo. Printed dipole array antenna at Ka-band based on LTCC technology[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2010, 25(1): 139-141 (in Chinese).
- [12] 倪国旗, 高本庆. 一种新型的层叠式介质埋藏贴片八木天线[J]. 电波科学学报, 2009, 24(2): 337-340.
- Ni Guoqi, Gao Benqing. Newly patch Yagi antenna of cascade-dielectric embedded[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2009, 24(2): 337-340 (in Chinese).

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，一直致力于专注于微波、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>