

用于地面电视接收的频率可重构倒 F 天线设计

郭庆新, 李增瑞, 关亚林, 居继龙

(中国传媒大学信息工程学院, 北京 100024)

摘要:结合倒 F 天线和可重构天线的优点设计一个用于中国移动多媒体广播的频率可重构的倒 F 天线。天线使用微波 PIN 二极管和变容二极管来实现频率可重构功能。测试结果说明本文设计的天线在 450~800MHz 频率范围内, 反射系数 $< -10\text{dB}$ 的工作频率是连续可调的, 结果同时说明在整个频率范围内不同工作频率下辐射方向图近似全向辐射且方向图比较稳定。

关键词: 倒 F 天线; 频率可重构天线; 地面广播; 中国移动多媒体广播; CMMB

中图分类号: TN821.91 文献标识码: A 文章编号: 1673-4793(2011)01-0057-05

A Frequency – Reconfigurable Inverted – F Antenna for Terrestrial Broadcast Application

GUO Qing-xin, LI Zeng-rui, GUAN Ya-lin, JU Ji-long

(School of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: A frequency-reconfigurable printed inverted-F antenna for terrestrial broadcast application is presented. PIN diodes and variable capacitor diodes are used in this antenna to reconfigure the operating frequency. In order to expand its operating frequency bandwidth, two inverted-F structures are integrated in a printed circuit board. Simulation and measured results show the operating frequencies are varied with the junction capacitance or the reversed-bias voltage of varicaps. The far field radiation patterns illustrate that they are nearly omni-directional while the working frequencies altered.

Keywords: inverted-f antenna; reconfigurable antenna; terrestrial broadcast; CMMB

1 概述

中国移动多媒体广播(CMMB)标准是由中国国家广播电影电视总局制定的移动多媒体电视行业标准。CMMB 是利用卫星广播和地面广播相结合来进行移动或固定数字电视信号接收。采用频率为 2635~2660MHz 的 S 波段卫星以及频率为 470~798MHz 的 UHF 地面广播作为工作频率^[1]。在 2008 年北京奥运会期间,在中国的部分城市已经建

立起 CMMB 覆盖网并通过该网络移动接收电视信号, 目前 CMMB 覆盖网已经在全国建立起来。

由于传统的倒 F 天线具有容易加工、无需外加匹配电路、全向辐射方向图等优点而被广泛使用^[2]。不过单个倒 F 天线的谐振频率是确定的, 所以只能工作在特定的频率, 不能在比较宽的频率范围或不同的频段使用^[3]。为了克服这个缺陷, 人们提出了各种办法来解决。

可重构天线是 1983 年, 在 D. Schaubert 的专利中首次使用^[4]。可重构天线按功能可分为频率可

收稿日期: 2010-11-24

基金项目: 中国传媒大学工科规划项目(XNG0913)资助

作者简介: 郭庆新(1974-), 男(回族), 福建仙游人, 中国传媒大学信息工程学院讲师。E-mail: qxguo@cuc.edu.cn

重构天线、方向图可重构天线、极化可重构天线和多电磁参数可重构天线。通过改变可重构天线的结构可以使天线的频率、方向图、极化方式等多种参数中的一种或几种实现重构^[5-7]。作为一种新型的天线，可重构天线与传统天线相比具有多频带、结构紧凑、易集成、利于实现分集等优点和广阔的发展前景。近年来可重构天线已经成为天线领域的研究热点而受到了广泛的关注。

本文根据CMMB系统的要求，结合倒F天线和可重构天线的优点设计一个用于CMMB系统的频率可重构的倒F天线。为了使天线覆盖全部工作频率范围，采用两个倒F天线重叠来拓宽整个天线工作频率范围。利用PIN二极管和变容二极管协同工作来实现本天线的频率可重构功能。测试结果说明本文设计的天线在450~800MHz频率范围内，反射损耗<-10dB的工作频率是连续可调的，结果同时说明在整个频率范围内不同工作频率下辐射方向图近似全向辐射且方向图比较稳定。

2 可重构倒F天线设计

用于CMMB系统的频率可重构的倒F天线结构如图1所示。天线采用的介质板材料是介电常数 $\epsilon_r=4.4$ ，厚度1.6mm的FR-4板。在天线的正面是IFA的地平面和辐射器，在图中用灰色表示；背面是馈电和控制传输线，在图中用黑色表示。由于采用一个辐射器不能够覆盖全部的频率范围，所以采用两个辐射器来实现全频段的覆盖，其中较大的辐射器用于覆盖450~600MHz的低频段，较小的辐射器用于覆盖600~800MHz的高频段，辐射器上的合适位置加入PIN开关二极管来实现两个频段的切换。IFA的辐射器由一条开路非对称有限地共面波导传输线^[8]和一条接地的短路线并联构成，传输线的宽度与50Ω微带线的宽度相同。

图1中 VC_1 和 VC_2 是变容二极管， VC_1 用于低频段的频率调节， VC_2 用于高频段的频率调节。高低频段之间的切换通过控制四个PIN二极管通断来实现，图中用 S_1 、 S_3 、 S_2 和 S_4 表示。 S_1 和 S_3 导通， S_2 和 S_4 截止时工作在低频段， S_2 和 S_4 导通， S_1 和 S_3 截止时工作在高频段。天线的背面是用于馈电的50Ω微带传输线和用于直流偏置的高阻线。 50Ω 微带传输线和正面的天线辐射器之间通过埋在介质

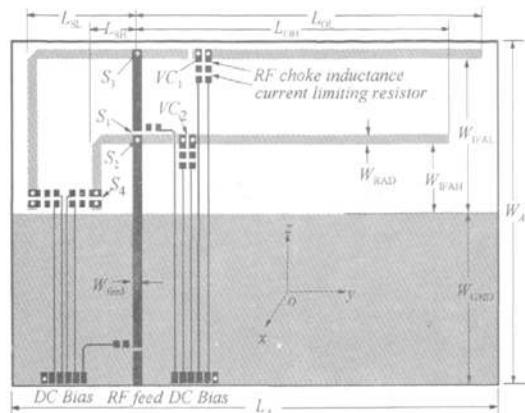


图1 频率可重构天线示意图

板中的PIN开关二极管 S_2 和 S_3 连接。为了减小直流偏置电路对天线性能的影响，天线中的PIN开关二极管和变容二极管都是经过扼流电感和限流电阻与直流电源相连接。为了实现各个PIN开关二极管和变容二极管的直流偏置不相互影响，在天线中加入了多个1000pF的隔直流电容。

带封装的PIN开关二极管和变容二极管的等效电路如图2所示^[9]。其中 L_p 和 C_p 是封装的寄生电容电感和寄生电感， R_s 是PN结接触电阻， C_b 是引线寄生电容。 C_j 是结电容，对于变容二极管，其大小直接和加在PN结上的反偏电压有关。 R_j 是PIN二极管的正偏电阻，其大小主要取决于正向导通电流。这些寄生参数会对天线的参数产生一定的影响。

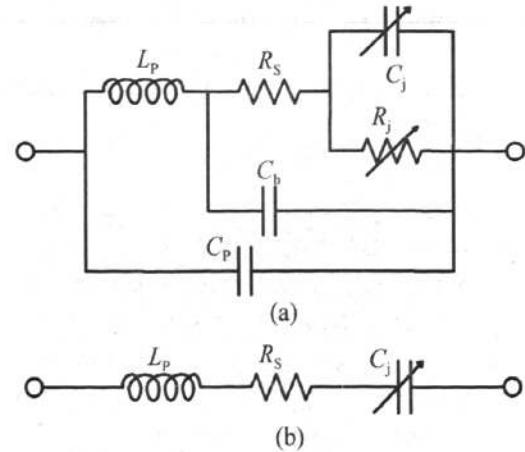


图2 PIN二极管和变容二极管等效电路

(a) PIN二极管 (b) 变容二极管

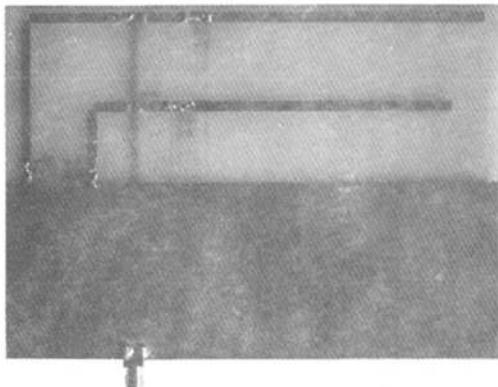
天线性能的计算采用基于有限元方法的软件进

行仿真。为加快仿真速度和降低模型建立复杂度，在建立仿真模型时没有考虑 PIN 开关二极管和变容二极管的各种寄生电容、电感等寄生参数。PIN 开关二极管导通时，设定为导通电阻值为 2Ω ，而在关断时电阻值为 1000Ω 。变容二极管只考虑反向偏置时 PN 结电容的变化。

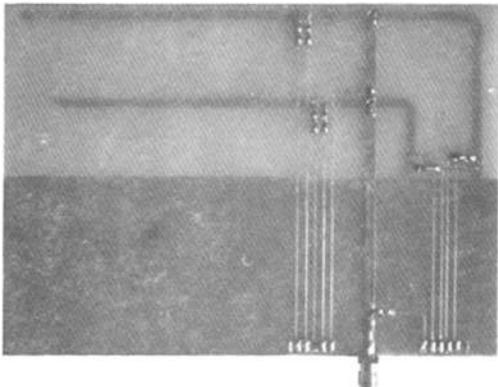
经过仿真可以得到多组满足要求的数据，表 1 中列出了通过优化之后的一组尺寸。图 3 是根据优化和仿真结果制作了一个实际的可重构天线照片。

表 1 优化后的一组天线尺寸

符 号	L_A	W_A	L_{OL}	L_{OH}	L_{SL}	L_{SH}
数 值 (mm)	150	100	106	96	34	14
符 号	W_{IFAL}	W_{IFAH}	W_{FEED}	W_{RAD}	W_{GND}	
数 值 (mm)	45	20	3	3	50	



(a)



(b)

图 3 天线的照片,(a)正面(b)背面

3 仿真及测试结果讨论

图 4 给出了不同电容值的输入反射系数仿真结果和不同偏置电压下输入反射系数实际测试结果。图 4(a)是 PIN 开关二极管 S_1, S_3 导通, S_2, S_4 关断时, 变容二极管电容值 VC_1 从 0.6pF 到 6.6pF 变化时的仿真结果。图 4(b)是 S_2, S_4 导通, S_1, S_3 关断时, 变容二极管电容值 VC_2 从 0.6pF 到 6.6pF 变化时的仿真结果。图 4(c)和图 4(d)分别是低频段和高频段变容二极管不同偏置电压下反射系数的测试结果。为了测试方便, 微带传输线通过一个 SMA 连接器和外界相连接, 测试仪器是矢量网络分析仪 E8357A。测试中, 我们选用了 NXP 公司生成的型号为 BAP70 - 02 的开关二极管和 INFENION 公司生产的 BB837 的变容二极管。PIN 二极管在导通状态下前向电流设定为 20mA , 截止状态为 0mA 。变容二极管的反偏电压从 1V 到 20V 变化, 具体的取值是根据厂家提供的器件参数表来确定。

从图 4 中仿真结果显示, 反射系数 $< -10\text{dB}$ 的工作频率范围随着变容二极管的容值变化而变化, 频率变化范围基本覆盖了 $480 - 830\text{MHz}$ 频段, 测试结果显示, 反射系数 $< -10\text{dB}$ 的工作频率范围随着变容二极管工作的反偏电压的变化而变化, 频率变化范围基本覆盖了 $450 - 800\text{MHz}$ 频段。从图 4 我们还可以看出, 仿真的结果和实际测试的结果有一定的偏差, 谐振频率偏差较大。造成这种偏差的主要原因有以下几个方面。一、变容二极管的理论结电容值和实际结电容之间的偏差, 这种偏差将直接导致谐振频率的偏差。二、PIN 二极管和变容二极管的寄生参数对谐振频率的影响。在设计过程中为了加快计算速度和降低模型建立的复杂度, 在建立仿真模型时没有考虑 PIN 开关二极管和变容二极管的寄生电容、电感以及结电阻。这势必导致频率的偏差。另外仿真软件和仿真算法的准确度也会影响结果。

图 5 分别给出了 $500\text{MHz}, 600\text{MHz}, 700\text{MHz}, 800\text{MHz}$ 频率下 xoy 平面和 xoz 平面测试得到的主要极化和交叉极化的天线辐射方向图。在图中的 xoy 平面, 角度 θ 等于 0 度是 x 方向, 90 度是 y 方向, 对于 xoz 面, 角度 φ 等于 0 度是 z 方向, 90 度是 x 方向。从图中可以看出, 在 xoy 平面, 低频段仿真的辐

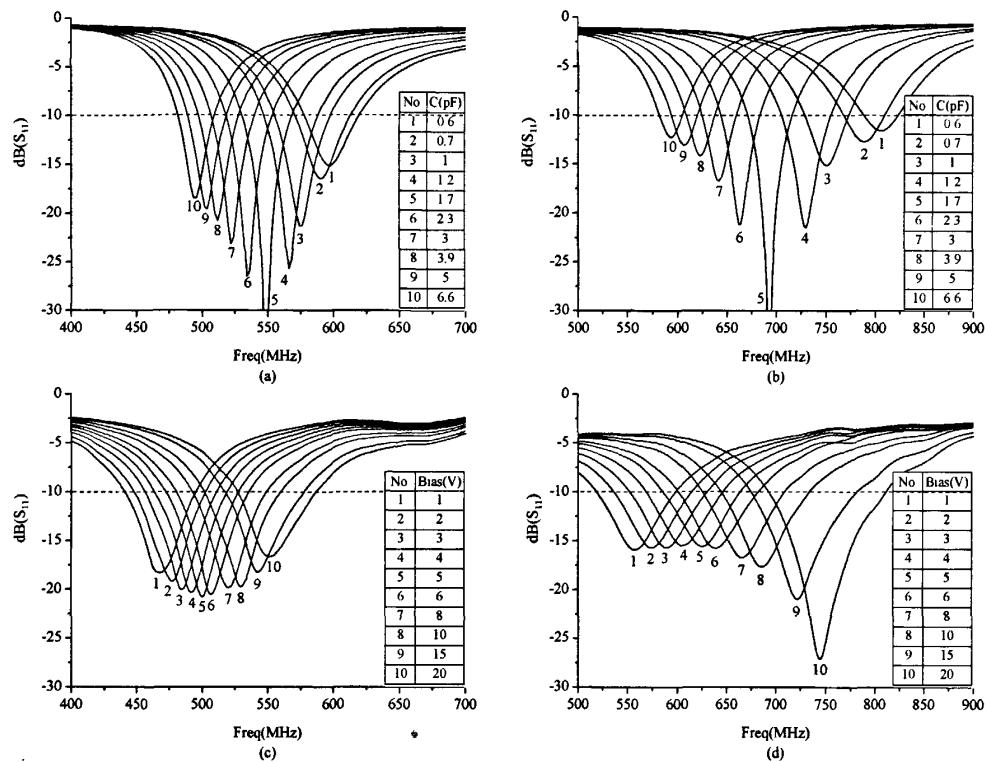


图 4 反射损耗,(a)低频段仿真结果,(b)高频段仿真结果(c)低频段测试结果 (d)高频段测试结果

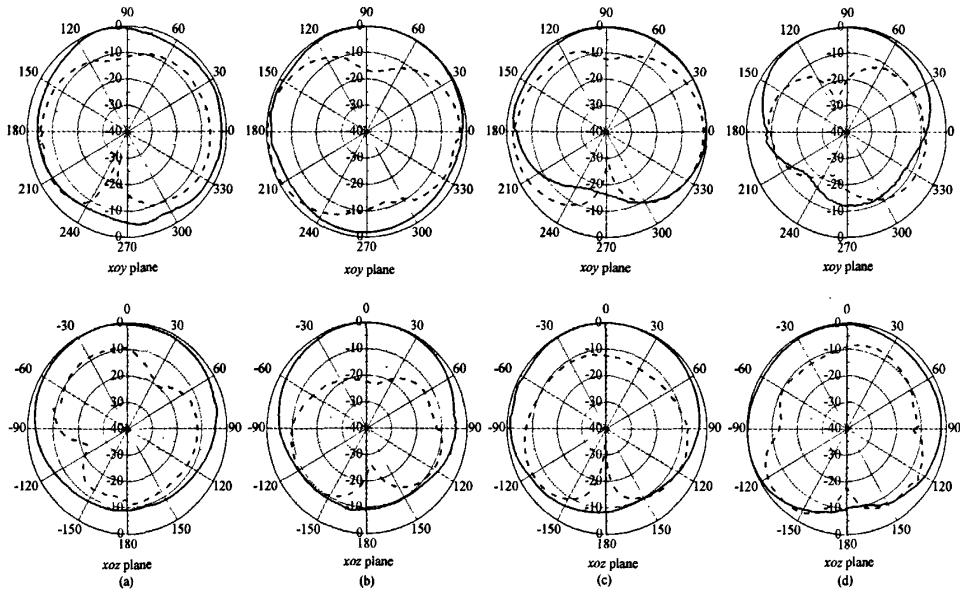


图 5 xoy 面和 xoz 面的远场辐射图测试结果 (a) 500 MHz, (b) 600 MHz, (c) 700 MHz, (d) 800 MHz

射方向图基本上还是全向辐射而高频段在 y 的负方向上辐射有所减小。在 xoz 平面, 在不同的工作频

率下可重构天线的辐射方向图比较稳定, 基本上都是全向辐射。

4 结论

本文结合倒 F 天线和可重构天线的优点设计了一个用于 CMMB 的频率可重构的印刷倒 F 天线。为了覆盖 470~798 MHz 整个频段, 采用了两个倒 F 天线重叠, 并结合 PIN 二极管开关和变容二极管实现频率的可重构。从仿真与测试的结果我们可以看出: 本天线的反射系数小于 -10 dB 的工作频率范围随着变容二极管的结电容值或反偏电压的变化而改变, 频率变化范围覆盖了整个 CMMB 地面广播 UHF 频段; 而且在不同的工作频率下, 可重构天线的辐射方向图是接近于全向辐射且比较稳定。

参考文献

- [1] <http://www.cmmb.org.cn/knowledge/54/> [EB/OL].
- [2] Wong K L. Planar antennas for wireless communications[M]. New York: Wiley, 2003.
- [3] Songnan Yang, Chunna Zhang, Helen K. Pan, et al. Frequency – reconfigurable antennas for multiradio wireless platforms [J]. IEEE Microwave magazine, 2006, 10 (1): 66 – 83.
- [4] Schaubet D, et al . Frequency – Agile Polarization Diverse Microstrip Antennas and Frequency Scanned Arrays[P]. US Patent # 4,367,474, Jan. 4,1983.
- [5] Symeon Nikolaou, Boyon Kim, Photos Vryonisides, Reconfiguring antenna characteristics using PIN diodes[C]. EuCAP, 2009. 3748 – 3752.
- [6] Tsung – Hsun Hsieh, Jeen – Sheen Row, A reconfigurable design for bandwidth enhancement of circularly polarized slot antennas[J]. Microwave opt technol lett, 2010, 52 . 1377 – 1380.
- [7] Raj R, Poussot B, Laheurte J M, Vendier O. Pattern reconfiguration of microstrip antenna using flip – chip mounted packaged MEMS[J]. Microwave opt technol lett 2010, 52. 574 – 577.
- [8] Simons Rainee N. Coplanar waveguide circuits, components, and systems[M]. New York: Wiley, 2001.
- [9] Ulrich L. Rohde, David P. Newkirk, RF/Microwave circuits design for wireless applications [M]. New York: Wiley, 2000.

(责任编辑:王谦)

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>