

文章编号: 1671-7449(2011)01-0022-07

基于 LTCC 宽频带双频差分天线的研究与设计

安婷婷^{1,2}, 张文梅¹

1. 山西大学 物理电子工程学院, 山西 太原 030006;
2. 中国移动通信集团山西有限公司 信息技术分公司, 山西 太原 030009)

摘要: 提出了一种新型宽频带双频差分天线。该天线基于低温共烧陶瓷(Low Temperature Co-Fired Ceramics, 简称 LTCC)技术, 采用矩形环状贴片, 并使用两条叉形微带馈线进行差分馈电, 是一种具有平衡结构的宽缝隙天线, 该结构使得天线拥有很宽的频带宽度。天线两频段的中心频率为 2.63 GHz 和 5.13 GHz, 相对带宽分别为 8.37% (2.57 GHz~2.79 GHz) 和 29.04% (4.24 GHz~5.73 GHz), 奇模反射系数分别为 -4.43 dB 和 -15.67 dB。天线具有良好、稳定的全向辐射特性和增益。理论模拟和实际测量结果基本吻合。

关键词: 无线通信; 差分天线; 双频天线; 宽频带; 低温共烧陶瓷

中图分类号: TN821 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-7449.2011.01.005

Design and Analysis of Broadband Differential Dual-Frequency Antenna Based on LTCC

AN Tingting^{1,2}, ZHANG Wenmei¹

1. College of Physics and Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

2. Information Technology Branch, China Mobile Group Shanxi Company Limited, Taiyuan 030009, China)

Abstract: A novel broadband differential dual-frequency antenna is proposed. The antenna is designed on an LTCC (Low Temperature Co-Fired Ceramics) substrate. The rectangular ring patch is etched on the top of the substrate, and the fork-shaped microstrip feedline is on its back. It is a wide slot antenna with a balanced structure, and is fed by the differential signal. This substructure makes the antenna a wide bandwidth. The proposed antenna can work at both 2.63 GHz and 5.13 GHz, with the odd mode reflection coefficients -14.43 dB and -15.67 dB respectively. A good broadband characteristic is obtained. The relative bandwidths for the lower and higher working band are 8.37% (2.57 GHz~2.79 GHz) and 29.04% (4.24 GHz~5.73 GHz). The proposed antenna has a high gain and the nearly omni-directional radiation patterns at both two working bands. Good agreement between the measured and the simulated results has been achieved.

Key words: wireless communication; differential antenna; dual-frequency antenna; broadband; LTCC

随着无线通信的发展, 要求天线和射频前端实现更高程度的小型化、多频段、高性能、高宽带。差分信号的使用使得射频前端拥有更高的集成度。紧凑的多频段天线^[1-4]和差分馈电天线^[5-8]作为无线通信系统的一个重要组成部分受到了国内外的广泛关注。文献[5]中给出了一种带有“H”形缝隙的差分馈电微带贴片天线, “H”形缝隙的采用明显增加了天线的频带宽度。文献[6-7]提出了两种集成在推挽功率放大

• 收稿日期: 2010-10-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60771052)、国家博士后基金特别资助项目(200801424)、山西省自然科学基金资助项目(2006011029)、太原市科技资助项目(0703004)

作者简介: 安婷婷(1983-), 女, 硕士, 主要从事射频与微波通信研究。

器中的差分馈电微带天线, 它使推挽功率放大器更加紧凑、高效。文献[8]中提出了一种集成在低噪声放大器中的差分馈电微带天线, 该天线采用孔径耦合的馈电方式, 可适用于紧凑的自适应天线阵。但是以上提到的差分天线都是在单频工作, 不能完全满足移动通信的需求。

本文提出了一种新型宽频带双频差分天线, 天线基于 LTCC 技术, 采用矩形环状贴片与两条叉形微带馈线, 并使用差分馈电, 是一种具有平衡结构的宽缝隙天线, 该天线拥有很宽的带宽。测量结果与仿真结果基本吻合。天线两频段的中心频率为 2.63 GHz 和 5.13 GHz, 相对带宽分别为 8.37% 和 29.04%。天线具有稳定的全向辐射特性和良好的增益。该天线设计方法简单、性能良好, 是一种具有实用价值的宽频带双频天线。

1 差分理论

1.1 差分天线的输入阻抗

差分天线可以视作一个两端口网络, 差分电压可由两端口的 Z 参数得出, 如公式(1)。其中 V_d 为差分电压, V_1 , V_2 为两端口的激励电压, I_1 , I_2 为两端口的激励电流^[9]。

$$V_d = V_1 - V_2 = (Z_{11} - Z_{21})I_1 - (Z_{22} - Z_{12})I_2. \quad (1)$$

对于差分天线而言, 两端口的激励电流满足公式(2)

$$I_1 = -I_2 = I. \quad (2)$$

因此, 差分天线的输入阻抗 Z_d 如公式(3), 其中 Z_{11} 为端口 1 的自阻抗, Z_{12} 为两端口的互阻抗。

$$Z_d = \frac{V_d}{I} = 2(Z_{11} - Z_{21}) = 2(Z_{22} - Z_{12}). \quad (3)$$

1.2 两端口网络的奇模激励和偶模激励

馈电电路与差分天线间接口的重要参数为奇模反射系数^[10]。对于差分天线, 两端口的偶模激励不会产生辐射模式, 所以大部分的偶模能量反射回发射端。当平衡天线的两端口馈入奇模信号时, 端口 2 产生的激励与端口 1 幅度相同、相位相反。奇模反射系数 Γ_{odd} 可由归一化入射波和归一化反射波来表示。端口 1 的奇模反射系数 Γ_{odd} 可由公式(4)表达, 其中 a_1 , a_2 为两端口的归一化入射波, b_1 为端口 1 的归一化反射波。

$$\Gamma_{odd} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2 = -a_1}. \quad (4)$$

对于定义了 S 参数的两端口网络, 奇模反射系数

$$\Gamma_{odd} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2 = -a_1} = \frac{S_{11}a_1 + S_{12}a_2}{a_1} \Big|_{a_2 = -a_1} = S_{11} - S_{12}. \quad (5)$$

同理, 当天线的两端口馈电为偶模激励时, 端口 2 产生的激励是与端口 1 幅度相同、相位相反的。端口 1 的偶模反射系数

$$\Gamma_{even} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2 = -a_1} = S_{11} + S_{12}. \quad (6)$$

因此, 可以用两端口简单的仿真与测量 S 参数计算出奇模反射系数, 这对差分天线的发展提供了方便有利的条件。

2 天线设计

宽频带双频差分天线的结构如图 1 所示。天线衬底采用相对介电常数 $\epsilon_r = 6.15$, 厚度 $h = 0.635$ cm 的 LTCC 材料。LTCC 基板的 RF 性能好、集成密度高、数字响应快, 生产周期快、成本低、自动化程度高、生产灵活, 在降低损耗、提高电路高频性能、特别是缩小器件体积等方面都起到重要作用。衬底上表面为矩形环状贴片, 下表面为两条特性阻抗为 50Ω 的、叉形微带馈线, 采用差分信号馈电, 该

天线是一种具有平衡结构的宽缝隙天线,此结构使得天线拥有很宽的频带宽度。天线的两个谐振频率主要由矩形环和馈线的尺寸来决定。天线低频段的谐振频率主要由矩形环的尺寸决定,其导波波长为环形周长的一半,而高频段的谐振频率主要由矩形环和馈线的尺寸共同决定,其导波波长约为环形周长的1/4,馈线长度约为其导波波长的1/4。

针对天线结构,通过对天线尺寸参数的仿真与优化发现,天线参数间相互影响、相互制约,以下几个参数对天线特性的影响较为明显:矩形环的长 l_1 与宽 l_2 ,矩形环形的宽度 w_1 与 w_2 ,馈线参数 l_3 , l_5 与 w_5 ,结果如图2~图8所示。在研究某个参数对天线性能的影响时,只取这个参数做为变量,保持其他参数为定值: $l_1=30\text{ mm}$, $l_2=30\text{ mm}$, $l_3=6\text{ mm}$, $l_4=2.9\text{ mm}$, $l_5=2\text{ mm}$, $w_1=1.5\text{ mm}$, $w_2=2\text{ mm}$, $w_3=0.9\text{ mm}$, $w_4=2\text{ mm}$, $w_5=5\text{ mm}$ 。

图2,图3给出了天线矩形环贴片的长 l_1 与宽 l_2 对差分天线性能的影响。由图2,图3可以看出,贴片长 l_1 对天线的两个谐振频率都有影响,当 l_1 逐渐增大时,第一个谐振频率逐渐减小,奇模反射系数逐渐变差;第二个谐振频率逐渐增大,奇模反射系数逐渐变差又逐渐变好。贴片宽 l_2 对天线的第二个谐振频率影响较大。当 l_2 逐渐增大时,第二个谐振频率逐渐减小,奇模反射系数逐渐变好;第一个谐振频率变化不大,奇模反射系数逐渐变好又逐渐变差。

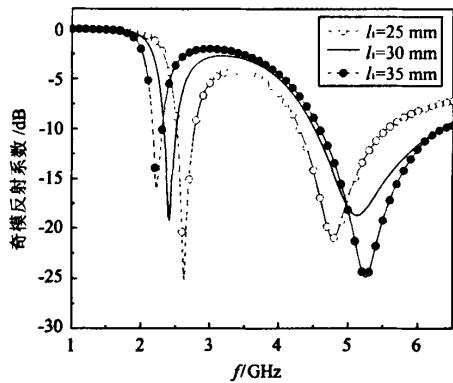


图2 矩形环长 l_1 对天线性能的影响

Fig.2 Antenna performance for different l_1

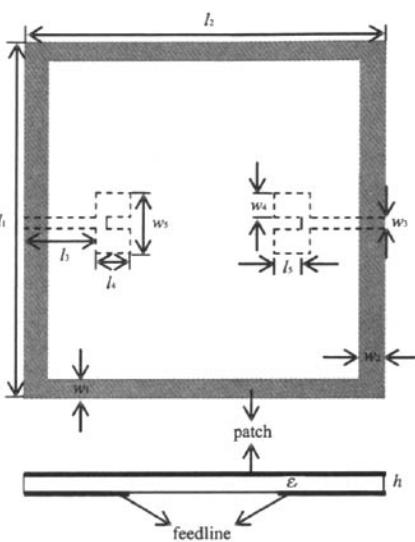


图1 宽频带双频差分天线结构图

Fig.1 Schematic of the broadband differential dual-frequency antenna

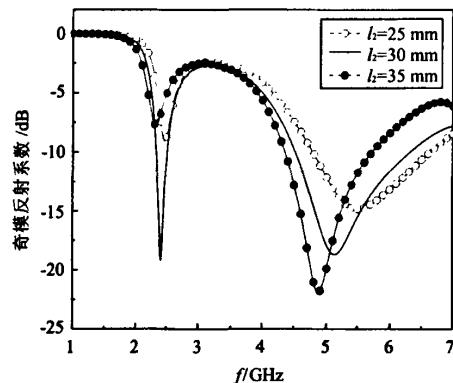


图3 矩形环宽 l_2 对天线性能的影响

Fig.3 Antenna performance for different l_2

图4给出了天线矩形环宽度 w_1 , w_2 对天线性能的影响。由图4可以总结出以下结论: w_1 对第一个谐振频率影响较大,而 w_2 对第二个谐振频率影响较大。随着 w_1 的减小,第一个谐振频率逐渐减小,奇模反射系数逐渐变差;第二个谐振频率变化不明显,奇模反射系数逐渐变好。而随着 w_2 的减小,第一个谐振频率变化不大,奇模反射系数逐渐变好;第二个谐振频率逐渐减小,奇模反射系数影响不大。

天线的馈线对天线性能的影响如图5~图8所示。图5比较了天线采用叉形微带馈线和一般微带馈线时的输入阻抗。由图5可以看出天线采用两种馈线都有两个谐振频率,当采用一般馈线时,天线的谐振频率在低频变化不大,在高频有明显的升高,天线的阻抗匹配也差于采用叉形馈线时的阻抗匹配。由

图 6, 图 7 可以得出, 喂线长度 l_3 与叉形长度 l_5 对天线性能的影响较为相似, 都对第二个谐振频率影响较大。当 l_3 , l_5 增加时, 第一个谐振频率稍有减小, 奇模反射系数逐渐变好; 第二个谐振频率有较大幅度的减小, 奇模反射系数逐渐变差。由图 8 可以得出, 叉形宽度 w_5 也对第二个谐振频率影响较大, 随着 w_5 的增加, 第一个谐振频率减小幅度较小, 奇模反射系数逐渐变差; 第二个谐振频率减小幅度较大, 奇模反射系数逐渐变好又逐渐变差。

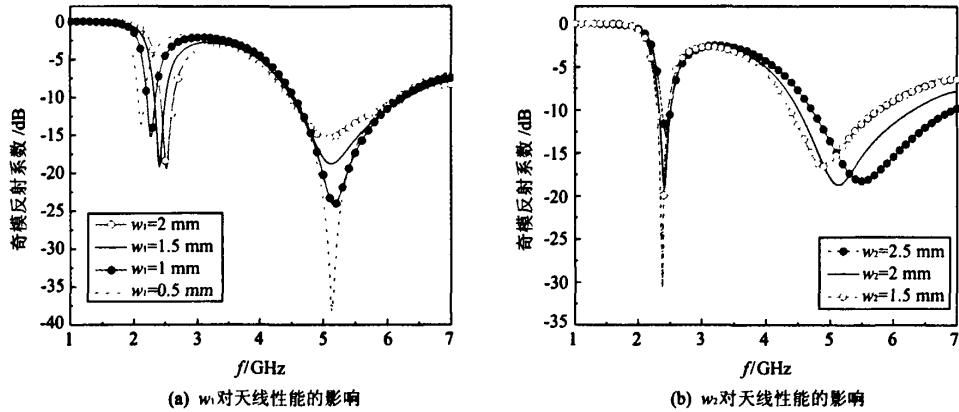


图 4 天线环形宽度 w_1 , w_2 对天线性能的影响

Fig. 4 Antenna performance for different w_1 and w_2

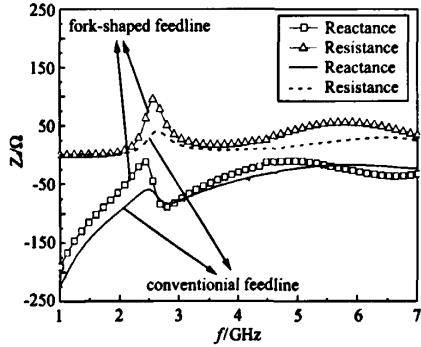


图 5 两种不同馈线的输入阻抗

Fig. 5 Input impedance for two different feedlines

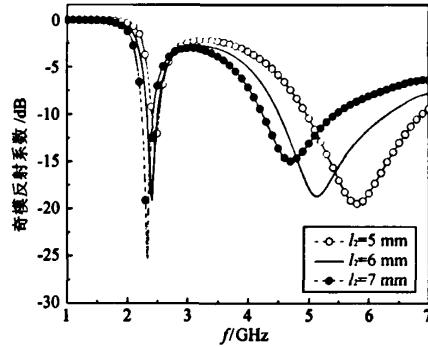


图 6 喂线长度 l_3 对天线性能的影响

Fig. 6 Antenna performance for different l_3

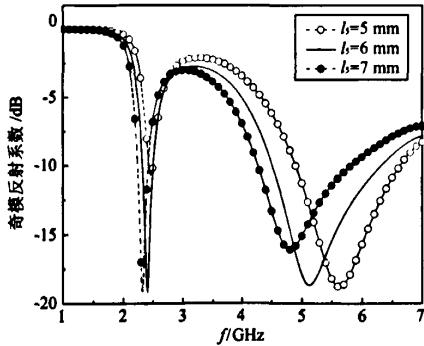


图 7 喂线叉形长度 l_5 对天线性能的影响

Fig. 7 Antenna performance for different l_5

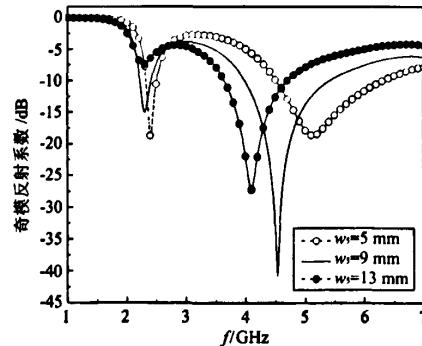


图 8 喂线叉形宽度 w_5 对天线性能的影响

Fig. 8 Antenna performance for different w_5

3 仿真与测试结果

利用商业仿真软件 Ansoft HFSS 对提出的宽频带双频差分天线进行仿真分析, 仿真优化后天线的参数为: $l_1 = 30 \text{ mm}$, $l_2 = 30 \text{ mm}$, $l_3 = 6 \text{ mm}$, $l_4 = 2.9 \text{ mm}$, $l_5 = 2 \text{ mm}$, $w_1 = 1.5 \text{ mm}$, $w_2 = 2 \text{ mm}$, $w_3 = 0.9 \text{ mm}$, $w_4 = 2 \text{ mm}$, $w_5 = 5 \text{ mm}$. 根据仿真优化的结果, 制作了实物模型, 如图 9 所示.

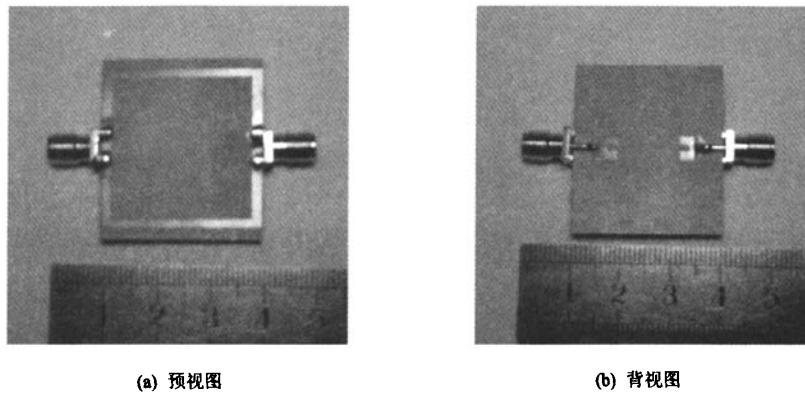


图 9 天线实物图

Fig. 9 Photograph of the proposed antenna

并使用 Agilent N5230A 矢量网络分析仪对天线的奇模反射系数进行测量, 用 MS2668C 频谱分析仪测量天线的辐射特性和增益.

图 10 给出测量与仿真的天线的奇模反射系数曲线. 由图 10 可以看出, 该天线可以工作于两个频段. 天线仿真的两个频段的中心频率分别为 2.41 GHz 和 5.18 GHz, 天线在低频段中心频率的奇模反射系数为 -19.04 dB , 在高频段中心频率的奇模反射系数为 -18.56 dB . 天线在低频段的绝对带宽为 180 MHz (2.33 GHz \sim 2.51 GHz), 10 dB 相对带宽为 7.47%; 在高频段, 天线的绝对带宽为 1.81 GHz (4.51 GHz \sim 6.32 GHz), 10 dB 相对带宽为 34.94%. 天线测量的两个频段的中心频率分别为 2.63 GHz 和 5.13 GHz, 低频段与高频段中心频率的奇模反射系数为 -14.43 dB 与 -15.67 dB . 天线在低频段的绝对带宽为 220 MHz (2.57 GHz \sim 2.79 GHz), 10 dB 相对带宽为 8.37%; 在高频段, 天线的绝对带宽为 1.49 GHz (4.24 GHz \sim 5.73 GHz), 10 dB 相对带宽为 29.04%. 由于制作以及测量的误差, 测量比仿真结果略有偏移, 但与仿真结果基本吻合. 本文提出的新型双频差分天线拥有很好的宽频带特性, 很好地解决了微带天线的带宽窄的问题, 可以很好地应用于移动和无线通信系统中.

图 11, 图 12 给出了天线在频率为 3.63 GHz 和 5.13 GHz 处仿真与测量的归一化远场辐射方向图. 由图 11, 图 12 可见, 天线具有近似全向的辐射特性, 而且天线的交叉极化较小, 尤其在 5.13 GHz 处天线 E 面的交叉极化特性最好. 图 13 给出了天线在两个频段的增益, 天线在两频段的最大增益为 3.42 dBi 与 3.75 dBi.

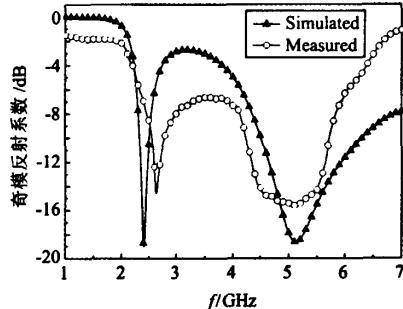


图 10 仿真与测量天线的奇模反射系数

Fig. 10 Simulated and measured odd-mode reflection coefficients

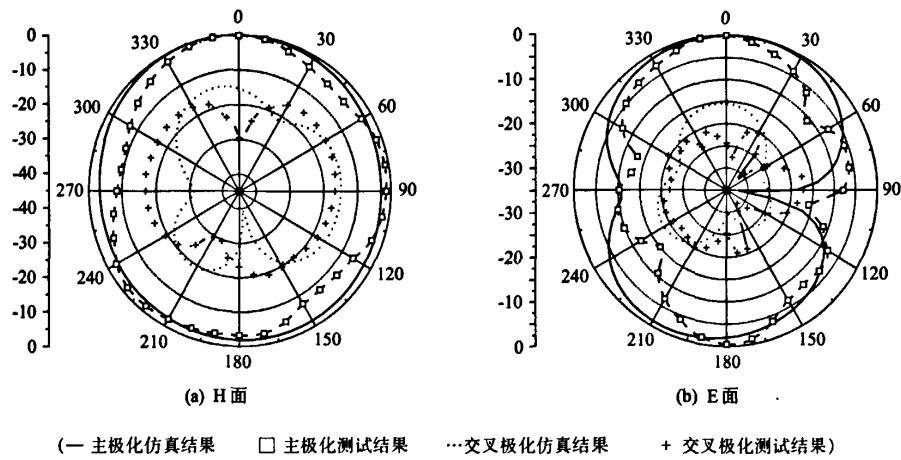


Fig. 11 Simulated and measured radiation patterns for 2.63 GHz

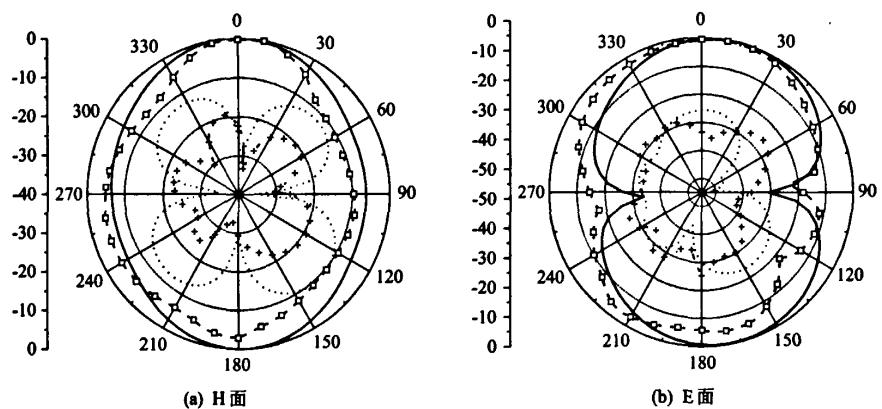


Fig. 12 Simulated and measured radiation patterns for 5.13 GHz

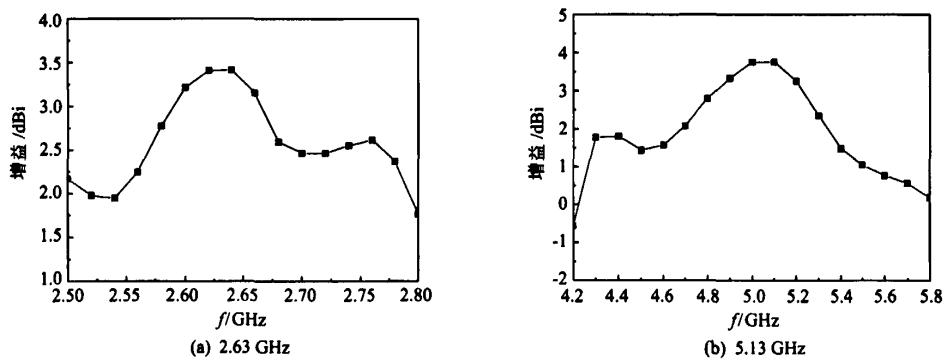


Fig. 13 天线增益

4 结 论

本文提出了一种新型宽频带双频差分天线, 基于低温共烧陶瓷(LTCC)技术, 采用矩形环状贴片与两条叉形微带馈线, 并使用差分馈电, 是一种具有平衡结构的宽缝隙天线, 具有良好的频带宽度、奇模反射系数、辐射特性和增益。本文提出的这种天线设计结构简单、参数易调节、制作简单、性能良好, 拥有很好的宽频带特性, 可以很好地运用于宽带无线局域网(WLAN)及新一代移动通信系统中, 也便于与系统的整体集成。

参考文献:

- [1] Boccia L, Amendola G, Massa G D. A Dual Frequency Microstrip Patch Antenna for High-Precision GPS Applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004, 3: 157-160.
- [2] Song Y, Jiao Y C, Zhao H, et al. Compact Printed Monopole Antenna for Multiband WLAN Applications[J]. Microwave Optical Technology Letter, 2008, 50(2): 365-367.
- [3] Li P, Luk K M, Lau K L. A Dual-Feed Dual-Band L-Probe Patch Antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(7): 2321-2323.
- [4] Chen S Y and Hsu P. Broad-Band Radial Slot Antenna Fed by Coplanar Waveguide for Dual-Frequency Operation[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(11): 3448-3452.
- [5] Zhang Y P. Design and Experiment on Differentially-driven Microstrip Antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(10): 2701-2708.
- [6] Deal W R, Radisic V, Qian Y X, et al. Integrated-Antenna Push-Pull Power Amplifiers[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(8): 1418-1425.
- [7] Wong W and Zhang Y P. 0.18 μ m CMOS Push-Pull Power Amplifier with Antenna in IC Package[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2004, 14(1): 13-15.
- [8] Brauner T, Vogt R, Bachtold W. A Differential Active Patch Antenna Element for Array Applications[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2003, 13(4): 161-163.
- [9] Zhang Y P, Wang J J. Theory and Analysis of Differentially-Driven Microstrip Antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006, 54(4): 1092-1099.
- [10] Lee E, Chan K M, Gardner P, et al. Active Integrated Antenna Design Using a Contact-Less, Proximity Coupled, Differentially Fed Technique[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(2): 267-276.

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>