

小型宽带低地面影响的平面手机天线设计

褚庆昕, 李健凤, 叶亮华

(华南理工大学电子与信息学院, 广东广州 510640)

摘要: 利用在单极子天线中开缝产生两条谐振路径, 本文设计出一个地板表面分布电流小, 性能稳定, 频率高达 2600 MHz 时仍具有与对称阵子相似的辐射方向图, 宽带宽(高低频带宽分别为 877 ~ 960MHz, 1680 ~ 3189MHz), 结构紧凑(宽为 39mm, 长为 13mm), 地板尺寸小的平面手机天线. 该天线结构简单, 制作容易, 适合应用在小型的手机中. 天线的仿真结果和测试结果十分吻合.

关键词: 多频手机天线; 宽带天线; 平面天线; 单极子天线; 手机天线

中图分类号: TN822 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 08-1919-04

Design of Compact Broadband Planar Phone Antenna with Low Ground Plane Effect

CHU Qing-xin, LI Jian-feng, YE Liang-hua

(College of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: A broadband (the first band is 877 ~ 960 MHz, and the second band is 1680 ~ 3189 MHz) planar phone antenna with weak ground surface current and stable performances is proposed, which has two resonant paths by eroding a slot on a monopole antenna. The radiation patterns at 2600 MHz of the antenna are still similar to the ones of monopole, and the size of ground plane is compact. Moreover, the antenna has a simple construction with a compact-size of 39mm in width and 13mm in length, and it can be easily fabricated. Simulated and measured results of the design are in a good agreement, so the antenna can be equipped in the system of mini mobile phone.

Key words: multi-band phone antenna; wide-band antenna; planar antenna; monopole antenna; phone antenna.

1 引言

近年来, 在多频、小型手机天线的研究方面已经取得了瞩目的成果. 但天线的地板表面分布电流和地板尺寸一般都很大, 如文献[1~4]. 这意味着天线的性能不稳定、难以应用到小型手机系统中. 性能稳定、在高频仍具有与对称阵子相似的全向辐射特性、结构紧凑的多频手机天线的设计比较困难.

大尺寸三维结构折合平面单极子天线^[1]和单极子天线^[2]加工困难, 限制了其在小型手持设备中的应用. 单极子天线^[3,4]和环形天线^[5]采用平面设计, 克服了三维结构的小兼容性, 但是天线^[3]尺寸大(50 × 30mm²), 不满足小型手持设备系统要求; 天线^[4]的 50 欧姆馈线的长度等于地板的长度, 这必然导致地板上的耦合电流很大, 天线性能稳定性差; 天线^[5]的带宽小, 只能覆盖 GSM、DCS 两个频段, 不满足多功能手持设备系统要求.

平面倒 F 天线^[6]同时满足了小尺寸和宽阻抗带宽的要求, 然而天线^[6]附近地板区域变化对天线性能的影响很大, 天线性能不稳定. 为了减小天线的尺寸, 平面倒 F 天线^[7]利用耦合的馈电方式; 环型天线^[8]设置了一个内部匹配电路, 两种天线^[7,8]都具有比较高的性能稳定性, 然而他们的高频带宽只满足 DCS/PCS/UMTS 工作频带要求, 无法覆盖 2.4-GHz WLAN、2.5-GHz WiMAX. 以上列举的天线还有缺点: 在频率达到 1800 MHz 后, 天线的全向性变差, 天线不能有效接收/发射各个方向的信号. 获得稳定的性能、在高频得到较好的全向辐射特性、宽带宽、小天线尺寸、小地板尺寸, 一直都是手机天线设计中的挑战性难点.

本文提出的天线同时具有性能稳定、高频辐射全向性好、带宽宽(高低频带宽分别为 877 ~ 960MHz, 1680 ~ 3189MHz)、结构紧凑(39 × 13mm²)、地板尺寸小(39 × 45mm²)等优点, 成功解决了传统手机天线设计中的难

点.利用电磁仿真软件 HFSS 进行了模型仿真及参数的优化,并且在此基础上进行了实物制作,经测量发现仿真结果和测量结果非常吻合.

2 天线设计、原理与分析

单极子天线具有宽带的特性,它是宽带天线、多频天线的理想选择.单极子的最低工作频率由下面公式决定^[9]:

$$f = \frac{c}{\sqrt{\epsilon} \cdot 4L}, L = \frac{W_a}{2} + L_a, \epsilon = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (1)$$

根据式(1)设计如图 1(a)所示的 T 型单极子天线,该单极子印制在相对介电常数 $\epsilon_r = 4.4$, 损耗角正切 $\tan \delta = 0.02$ 的 FR4 基板上.基板的尺寸为 $63 \times 39 \times 1.6\text{mm}^3$,该天线非常适合用于小型薄手机中.天线的尺寸为 $L_a \times W_a$ ($L_a = 13\text{mm}$, $W_a = 39\text{mm}$), $h = 5\text{mm}$ 是天线与地板之间的距离, 50Ω 微带馈线位于地板中间.

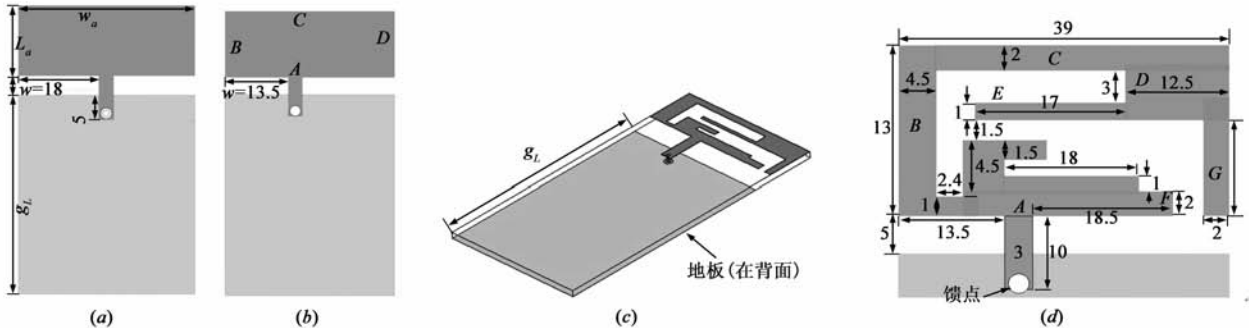


图1 天线的结构图(图中尺寸单位为:mm)

根据式(1),图 1(a)天线的最低工作频率约为 1405MHz.如图 2 所示,该 T 型单极子天线的谐振频率在 1940MHz,其工作带宽为 1480 ~ 2890MHz,故知:其最低工作频率与式(1)的计算结果非常吻合.为了改善高频阻抗带宽,如图 1(b)所示,使馈线偏移地板中心.改变馈线的位置,等于将原来的 T 型单极子划分为一个长 L 型单极子(ADC)和一个短 L 型单极子(ABC)的组合. ADC、ABC 长分别约为 56.5mm 和 47.5mm,由式(1)计算知道,其最低工作频率分别约为 1320MHz 和 2650MHz;从图 2 观察到其谐振频率分别为 1900MHz 和 2890MHz.这两个谐振点的组合,将高频阻抗带宽扩展为 1467 ~ 3435MHz,有效覆盖了 DCS(1710 ~ 1880MHz)、PCS(1850 ~ 1990MHz)、UMTS(1920 ~ 2170MHz)、2.4-GHz WLAN(2400 ~ 2480MHz)、和 2.5-GHz WiMAX(2500 ~ 2690MHz).图 1(a)、图 1(b)中两个天线都是单频天线,无法覆盖 GSM900 频段.为了得到 GSM900 工作频段,图 1(c)在图 1(b)的基础上,嵌入了一条细缝.图 1(d)是图 1(c)的局部图,并标示了详细尺寸.细缝的存在,改变了天线上的电流分布,将图 1(b)中短 L 型单极子变为大 C 型单极子(ABCDE),延长了谐振路径;而图 1(b)中的长 L 型单极子变为小 C 型单极子(AFGDE),即该天线变为两个大小 C 型单极子的组合. ABCDE 的长为 85mm,约为 900MHz 的四分之一波长,1900MHz 的二分之一波长. AFGDE 长为 59mm,约为 2740MHz 的二分之一波长.从 $|S_{11}|$ (回波损耗的模)比较图 2 看出,两个 C 型单极子的组合,成功激励了 GSM900 频段(877 ~ 960MHz)和 1680 ~ 3189MHz 频段,这两个阻抗频带有效覆盖 GSM900、DCS、PCS、UMTS、2.4-GHz WLAN、2.5-GHz WiMAX 等 6 个工作频

段,天线仍保留原来的小尺寸.

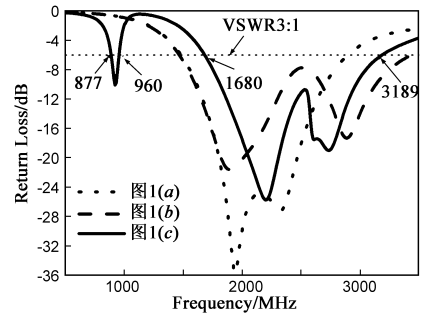


图2 图1中天线的 $|S_{11}|$ 比较图

由该天线谐振频率的电流分布图 3 可以知道,低频阻抗带宽由大 C 型单极子 ABCDE 产生.谐振路径 ABCDE 作为 1900MHz 的半个波长,理论上本应在 1900MHz 处产生谐振,但是由于两个大小 C 型单极子间的相互耦合,使得中心频率往高频(2200MHz)偏移. 2740MHz 处的谐振由小 C 型单极子 AFGDE 产生,谐振路径 AFGDE 是 AF 通过和 GDE 的耦合组成.细缝的大小对阻抗的影响很大,从而影响到天线性能,合理调整

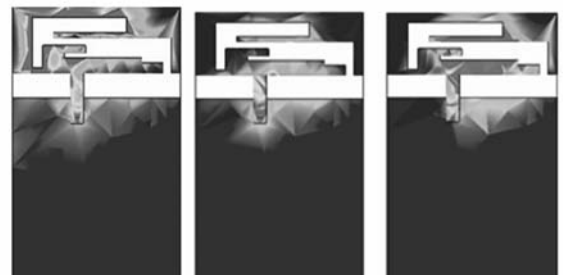
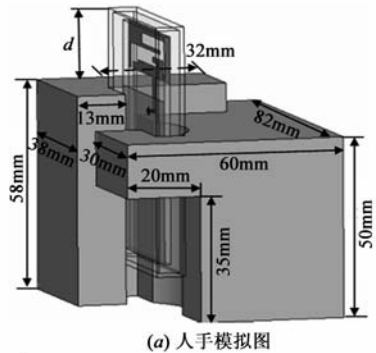


图3 电流分布图

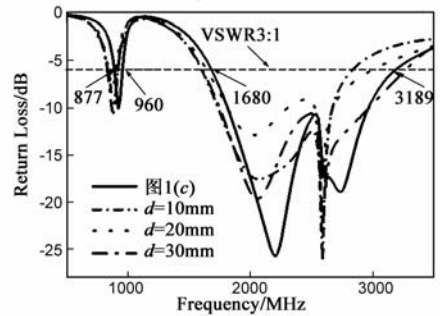
细缝各部分长度、大小,故可以改善阻抗特性^[9].

图 4 为 $|S_{11}|$ 随着地板长度 g_L 的变化图,低频带宽的 $|S_{11}|$ 几乎不受地板长度的影响,在高频带宽 $|S_{11}|$ 虽然受到了一定的影响,但是带宽的大小几乎没有变化.这是由于地板上表面分布电流很小的缘故.如图 5(a) 所示天线是在图 1(c) 天线辐射单元的下方加了一个尺寸为 $39 \times 20 \times 3 \text{mm}^3$ 的金属盒.为了避免金属盒与馈线直接接触而引起阻抗失配,以馈线为中心,在金属盒中挖去一条矩形沟($20 \times 10 \times 2 \text{mm}^3$).图 5(b) 是 $|S_{11}|$ 随金属盒与辐射单元之间的距离 g 的变化图.当 g 大于 4mm 时,随着 g 的减小, $|S_{11}|$ 几乎不变;当 $g = 2 \text{mm}$,尽管 $|S_{11}|$ 的大小在高频段有了一定的变化,可是整个带宽的变化不大.为了进一步证明天线性能的稳定,我们模拟了人手对 $|S_{11}|$ 的影响^[10].如图 6(a) 所示,天线被包围在塑料盒(介电常数为 $\epsilon_r = 3.5$,厚度 1mm ,损耗角正切 $\tan\delta = 0.02$)中;人手模型的介电常数为 $\epsilon_r = 35$,损耗角正切 $\tan\delta = 3.5$.图 6(b) 显示了 d 取不同值时 $|S_{11}|$ 变化比较小.由此进一步证明:该天线地板上表面分布电流很小,天线性能受到手机内部其他电气元件及人手等的影响小,天线的性能稳定.由于环形天线自身结构的对称性和稳定型,它在地板上激励的表面分布电流比较小^[5].这里大小两 C 型单极子天线组合起

来与环形天线相似(从天线的结构图 1(d) 可以看到 ABCDGF 类似于一个环形路径),具有环形天线的对称性和稳定性,故引起的地板表面分布电流比较小.



(a) 人手模拟图



(b) $|S_{11}|$ 随 d 的变化图

图 6

图 7 为 $|S_{11}|$ 随着 h 的变化仿真图, h 值越小,天线与地板的耦合电容就越大,故 h 对阻抗匹配的影响很大, h 的理想取值为 5mm .

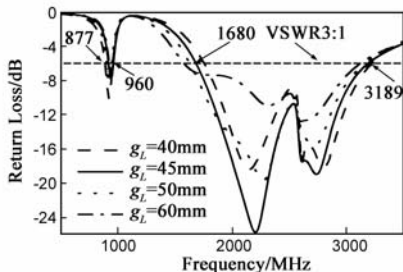
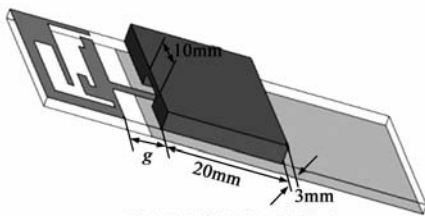
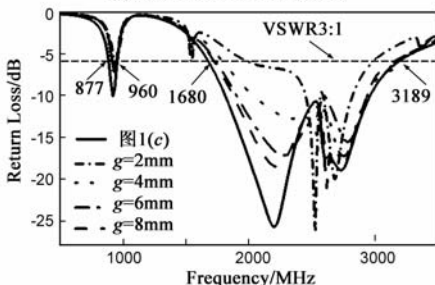


图 4 $|S_{11}|$ 随地板长度的变化图



(a) 加入了导体腔的天线模型



(b) $|S_{11}|$ 随 g 的变化图

图 5

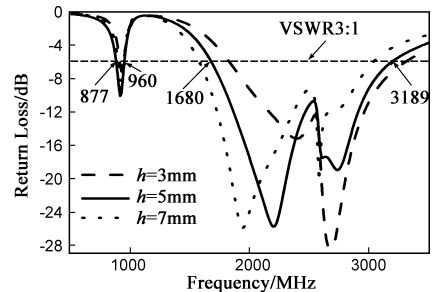


图 7 $|S_{11}|$ 随 h 的变化图

3 仿真与测试结果的比较

天线的实物如图 8 所示,观察测试与仿真的 $|S_{11}|$ 的比较图 9 可以知道,测试与仿真结果非常吻合.图 10(a)、(b)、(c) 分别给出天线在 900MHz 、 2200MHz 、 2740MHz 的 $x-y$ 、 $x-z$ 、 $y-z$ 面的测试与仿真的方向图.从图 10 可以观察到在各个频率点天线具有与对称振子相似的全向辐射特性,可以接收任何方向的信号,天线的实用性强.仿真和测量的辐射方向图有一定差异,这是因为测试的环境是室外,受到周围物体、天气因素等影响,故测量的结果有一定的误差.

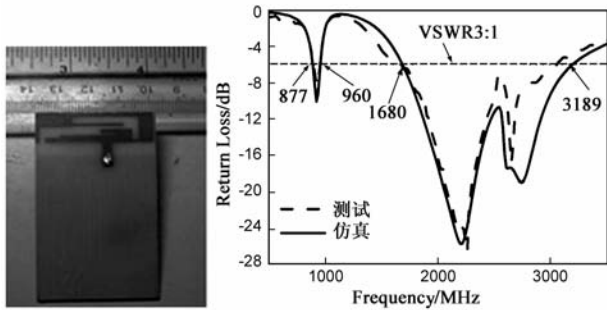


图8 天线的实物图

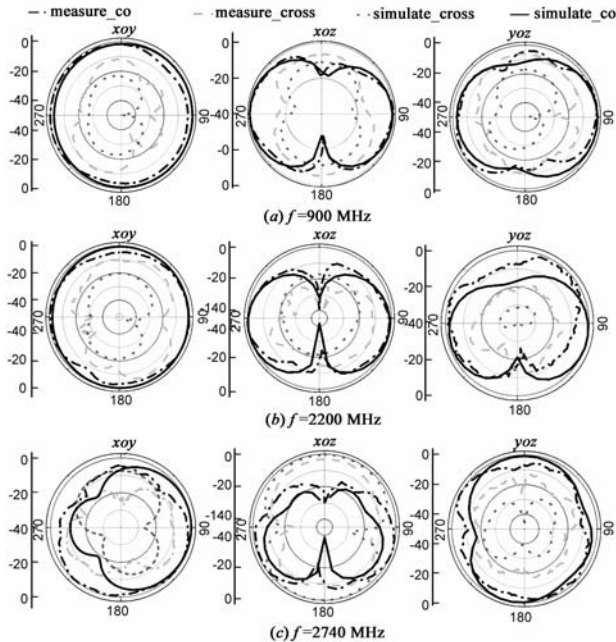
图9 $|S_{11}|$ 的仿真与测试的比较图

图10 天线的辐射方向图

4 结论

本文提出了性能受手机内部其他电气元件、人手等影响小、能应用于小型手机中的低地板电流影响的多频平面天线。该天线同时具有地板表面分布电流小、性能稳定、带宽宽,天线结构紧凑、地板尺寸小等优点。频率高达 2600MHz 时,天线仍拥有与对称振子相似的全向辐射特性,能接收和发送任何方向的信号。天线结构简单,容易制作,经实验结果证明仿真与测试结果非常吻合,故该天线具有实用价值、能广泛地应用于小型手机系统中。

参考文献

[1] 李增瑞,姜开波.一种新型宽频带折合平面单极子手机天线的设计与分析[J].电子学报,2006,36(12A):2399-

2401.

- Li Zeng-ru, Jiang Kai-bo. Design and analysis of a novel broad-band folded planar monopole antenna for mobile handset [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 36(12A): 2399 - 2401. (in Chinese)
- [2] C H Wu, K L Wong. Internal hybrid loop/monopole slot antenna for quad-band operation in the mobile phone [J]. Microw Opt Technol Lett, 2008, 50(3): 795 - 801.
- [3] Z W Du. A novel compact wide-band planar antenna for mobile handsets [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2006, 54(2): 613 - 619.
- [4] W J Krzyzstofik. Monopole-like antenna for GSM, UMTS, and WLAN applications [J]. Microw Opt Technol Lett, 2007, 49(11): 2766 - 2769.
- [5] Y W Chi. Internal compact dual-band printed loop antenna for mobile phone application [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2007, 55(5): 1457 - 1462.
- [6] G Park, S Hwang, et al. The compact quad-band PCB embedded antenna for mobile handsets [J]. Microw Opt Technol Lett, 2009, 51(5): 1332 - 1336.
- [7] C H Chang, K L Wong. Printed $\lambda/8$ -PIFA for penta-band WWAN operation in the mobile phone [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2009, 57(5): 1373 - 1781.
- [8] Y W Chi, K L Wong. Quarter-wavelength printed loop antenna with an internal printed matching circuit for GSM/DCS/PCS/UMTS operation in the mobile phone [J]. IEEE Trans Antennas Propag, 2009, 57(9): 2541 - 2547.
- [9] R C Hua, C F Chou, et al. Compact multiband planar monopole antennas for smart application [J]. IET Microw Antennas Propag, 2008, 2(5): 473 - 481.
- [10] C H Wu, K L Wong, et al. Simplified hand model including the user's forearm for the study of internal GSM/DCS mobile phone antenna [J]. Microw Opt Technol Lett, 2006, 48(11): 2202 - 2205.

作者简介

褚庆昕 男,山东人,华南理工大学电子与信息学院教授、博士生导师、天线与射频技术研究所所长,目前主要研究领域包含无线通信中的射频电路和天线、微波集成电流的全域建模、有源集成天线与空间功率合成、计算电磁学和人工媒质等。

E-mail: qxchu@scut.edu.cn

李健凤 女,广东人,华南理工大学电子与信息学院博士生,主要从事手机多频天线与 MIMO 天线的研究。

叶亮华 男,江西人,华南理工大学电子与信息学院硕士生,主要从事多频天线与超宽带天线的研究。