

doi:10.3969/j.issn.1007-7162.2013.04.019

低侧面四频带 PIFA 手机天线设计

罗文波¹, 吴多龙¹, 吴艳杰¹, 林青²

(1. 广东工业大学 物理与光电工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广州思泰信息技术有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: 设计了一种适用于超薄手机的四频带 PIFA 天线, 采用插销和寄生负载技术实现天线的多频带. 将馈电位置下面地板开槽和馈地探针直接接入大地板增强天线辐射. 此外, 利用 π 形无源匹配技术减小天线的回波损耗, 进一步增强天线的辐射效率. 实验测量表明, 该天线能工作在 GSM900/DCS/PCS/UMTS 4 个频段, 且辐射效率分别为 38%、40%、42% 和 39%.

关键词: 低侧面; 多频带天线; PIFA; 手机

中图分类号: TN828.6

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2013)04-0103-04

Design of a Low-profile Quad-Band PIFA Antenna for Mobile Phones

Luo Wen-bo¹, Wu Duo-long¹, Wu yan-jie¹, Lin Qing²

(1. School of Physics and Optoelectronic Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Guangzhou Stratac Information Technology Co., Ltd, Guangzhou 510663, China)

Abstract: It presents the design of a low-profile quad-band PIFA antenna for mobile phones. The Antenna has multiband characteristics via the use of two-slot and parasitic load. To enhance antenna radiation, three technologies were applied, such as digging out the ground under the feed, joining directly up ground-feed and the ground, and using passive π matching network. Experimental results show that the antenna has very good radiation performance in GSM900/DCS/PCS/UMTS operating bands, the efficiency of which is 38%、40%、42% and 39% respectively.

Key words: low-profile; multiband antenna; PIFA; mobile Phone

近年来,随着手机用户不断对小型化、多功能和超薄感的追求,小型化、多频带和低侧面的天线设计日益成为研究的重点.目前,天线小型化主要利用路径弯曲^[1-2]和感抗负载^[3]等技术实现,但具有减小天线阻抗带宽和辐射效率的缺点;多频带则主要利用多插销^[4-5]和 MIMO^[6-7]等技术实现,在保持天线面积不变情况下,同样具有减小天线阻抗带宽和辐射效率的缺点;低侧面则主要利用耦合馈电^[8-9]和地板净空的 Monopole^[10-11]等方式实现,但前者不能保证天线加工精度,后者因必须给天线腾出空间,故不利于手机小型化,而其他方式则同样面临阻抗带宽窄和辐射效率低的缺点.因此,当今手机天线设计的最大挑战归根在于如何在低侧面和小的占用面积前提下改善天线带宽和辐射效率,但现有研究文献不

多,特别是能应用到实际设计上的文献更加缺乏. Corbett Rowell 和 Edmund Y. Lam^[12]发现近 13 年来主要著名手机厂商方块手机天线所能设计的最小厚度为 3.3 mm,所占空间 33 mm × 24.2 mm × 3.3 mm,仅工作在 GSM900/1800/1900 3 个频段.因此设计出一种同时满足小型化、多频带和低侧面的手机天线已成为当前一个迫切的研究课题.

本文在低侧面窄空间的环境下设计了一款高性能的四频带 PIFA 天线(相对于同样环境所能设计的天线),天线由 FPC 材料做成,贴在手机后盖上,整体呈弧形,工作在 GSM(880 ~ 960 MHz), DCS(1 710 ~ 1 880 MHz), PCS(1 850 ~ 1 990 MHz), UMTS(1 920 ~ 2 170 MHz) 4 个频段.天线最高高度为 2.8 mm(相对于主板上表面),大约是以往所公

收稿日期: 2013-01-21

基金项目: 广州市天河区科技计划项目(201201YH019)

作者简介: 罗文波(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为射频与天线.

开研究报告^[13]中天线厚度的一半,所占空间为 56 mm × 21 mm × 2.8 mm. 经微波暗室测量, GSM900/DCS/PCS/UMTS 4 种频段的 TRP 分别为 28.10、27.50、28.00 和 17.68 dBm, TIS 分别为 -104.73、-104.67、-105.52 和 -102.32 dBm.

1 天线和地板

低侧面四频带手机的 PIFA 天线结构如图 1 所示. 它由两分支的 PIFA 天线和一个寄生分支组成, 其中 PIFA 天线实现高低两个频段, 最长的分支约为 GSM900 波长的 1/4, 较短的分支约为 DCS 波长的 1/4, 而寄生分支用于扩展高频段的带宽, 约为 UMTS 波长的 1/4. 该天线由 3 个顶针给其提供馈电, 地板由 L 型主板和 52 mm × 110 mm 的锌合金组成, 主板上表面离天线位置的最大高度为 2.8 mm, 因此该天线设计的最大难点在于如何增强天线带宽和辐射, 特别是对于低频. 为了增强天线辐射, 将馈电位置下方锌合金挖空, 减小天线的寄生电容, 同时将两馈地顶针直接接至大地板, 增加天线辐射面积, 从而减小了天线辐射阻力^[14-15], 同时扩展了天线带宽, 最终地板结构如图 2 所示. 本文采用了寄生耦合方式实现了 DCS/PCS/UMTS 高频工作, 以及减小了高频段的回波损耗, 增强了多频辐射效率.

天线最终参数如下: $L_1 = 19.5$ mm, $W_1 = 10.5$ mm, $d_1 = 4$ mm, $L_2 = 32$ mm, $W_2 = 6$ mm, $d_2 = 3$ mm, $L_3 = 17$ mm, $W_3 = 8$ mm, $d_3 = 5$ mm, $L_4 = 38.5$ mm, $W_4 = 13$ mm, $W_5 = 3.5$ mm, $L_5 = 20$ mm, 其余槽宽 $d = 1$ mm, 如图 1 所示.

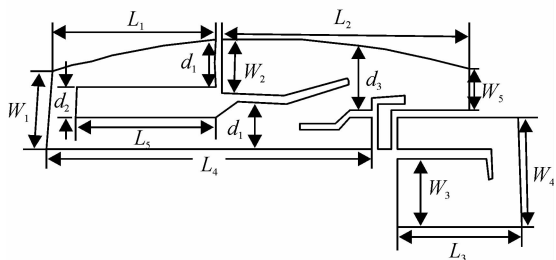
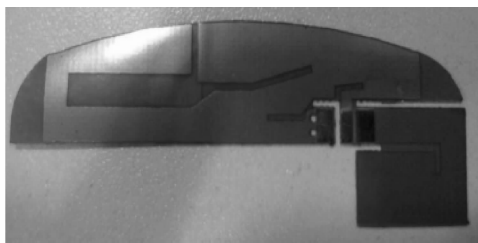


图 1 天线结构图

Fig. 1 Antenna Prototype

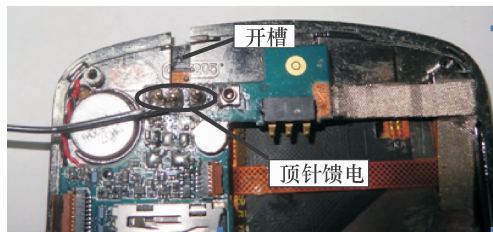


图 2 地板环境

Fig. 2 The structure of the antenna ground

2 仿真与讨论

考虑到手机结构非常复杂, 即使小的器件也是由复杂的结构组成, 很难建出准确的模型, 以及手机天线的研发周期和 HFSS 的仿真效率, 故无必要对手机天线采用准确模型仿真. 本文仅仿真手机的简化模型. 它由 52 mm × 110 mm 的地板、2.5 mm 的 3 个顶针和天线组成, 如图 3 所示. 仿真结果如图 4 所示. 可以看到, 天线低频段仅有一个谐振点 $f_1 = 1.115$ GHz, 高频段具有多个相邻的谐振点 $f_2 = 1.960$ GHz, $f_3 = 2.200$ GHz, 这与实际手机测量结果具有相同的特性, 但中心频率和回波损耗却偏离了实际的测量结果, 这是由仿真模型与实际模型相差较大所致, 但这并没失去实际天线的本质规律. 当调节 PIFA 中长、短分支长度时, 谐振频率 f_1, f_2 则会分别作出相应的变化, 而谐振 f_3 仅作微小的偏移; 单一寄生分支则调节谐振 f_3 , 同时通过调节槽和缝隙的宽度, 可以获得调节各频段输入阻抗的规律, 为实际天线调试作指导.

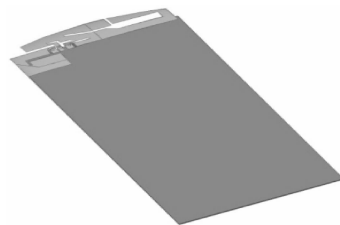


图 3 手机简化仿真模型

Fig. 3 The simple model simulation of a mobile phone

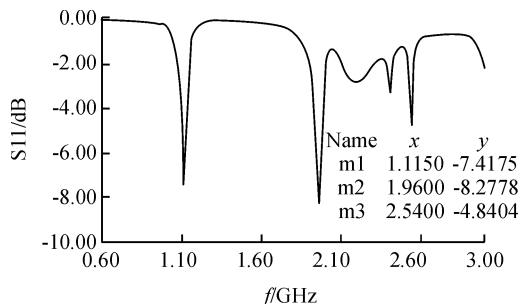


图 4 S11 仿真结果

Fig. 4 Simulated return loss of proposed antenna

3 测量结果

3.1 无源测量

图5显示了天线的实测回波损耗.匹配前,天线低频段谐振在870~940 MHz,带宽为70 MHz($S_{11} < -6$ dB),未能满足通信带宽要求,高频段由两个相邻的谐振组成,中心频率分别为1.752 MHz和2.082 MHz,谐振范围1.71~2.22 MHz,带宽为510 MHz($S_{11} < -6$ dB).匹配后,天线低频段带宽获得扩展,谐振范围873~970 MHz,带宽为97 MHz($S_{11} < -7$ dB),高频段的谐振范围1.705~2.195 MHz,带宽为490 MHz($S_{11} < -7$ dB),显然匹配后的结果比匹配前增强了天线辐射. π 形无源匹配网络由并联电感、串联电容和并联电容组成,其中6.8 nH 并联电感和4.7 pF 串联电容主要用于匹配低频段,1.8 pF 并联电容主要用于匹配高频段,如图6所示.

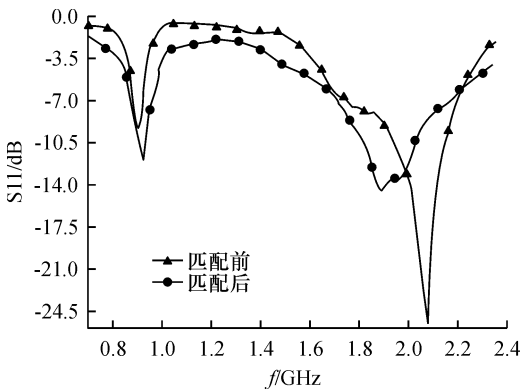


图5 实测 S11

Fig. 5 Measured return loss of proposed antenna

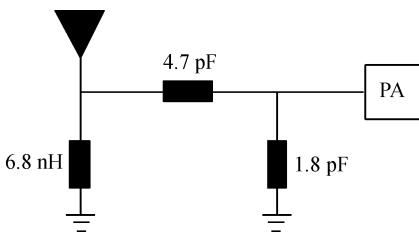


图6 无源匹配网络

Fig. 6 The passive matching network

3.2 有源测量

被测天线在 OTA 环境下测量的 GSM900/DCS/PCS/UMTS 4 种频段下的平均功率、最大功率、平均灵敏度和最小灵敏度如表1所示.从表1可以看出,各频段的最大功率与平均功率都相差不足3 dBm,说明天线在这四个频段上都具有较好的辐射方向图.天线最小灵敏度均已达到常规天线的性能指标,满足实际应用.此外,还可以看出,UMTS 的发射功

率较小,这是因为它与前些种制式的调制方式不同,GSM900/DCS/PCS 采用的是恒包络调制方式,可以工作在较高功率,而 UMTS 采用的是线性包络调制方式,允许输出的最大功率较低.经 3D 微波暗室测量,天线在 GSM900/DCS/PCS/UMTS 4 个频段的辐射效率分别为 38%、40%、42% 和 39%.

表1 天线有源性能

Tab.1 The active performance of proposed antenna					
工作制式	平均功率 /dBm	最大功率 /dBm	平均灵敏度 /dBm	最小灵敏度 /dBm	辐射效率/%
GSM900	28.10	30.43	-104.73	-107.34	38
DCS	27.50	29.56	-104.67	-107.16	40
PCS	28.00	30.12	-105.52	-108.50	42
UMTS	17.68	20.38	102.32	-106.92	39

4 结论

本文成功设计了一种较高性能的低侧面四频带 PIFA 手机天线.采用插销和寄生负载技术实现天线的四频带工作,同时将馈电位置下面地板开槽和馈地探针直接接入大地板,以及结合 π 形无源匹配技术实现天线辐射的增强和带宽的扩展,最终在最大高度仅为2.8 mm的天线上实现了实际应用的有源性能,打破现有手机天线所能设计的3.3 mm高度极限,而并没有增加天线所占面积,同时还实现了 UMTS 频段,为低侧面多频天线设计提供了一种有效的设计方法.此外,手机简易模型仿真为快速掌握天线调试规律提供了一种有效的方法.

参考文献:

- [1] Jiao S C, Niu J M, Jiang M. A compact multi-band PIFA antenna for mobile devices[M]. 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, 2012: 278-281.
- [2] Chiu C W, Chang C H, Chi Y J. A Compact folded loop antenna for LTE/GSM band mobile phone applications[J]. Progress In Electromagnetics Research C, 2010: 382-385.
- [3] Deshpande M D, Bailey M C. Analysis of stub loaded microstrip patch antennas[C]. IEEE Antennas Propagation Soc. Int. Symp, 1997: 916-919.
- [4] Gummalla A, Lee C J. Compact meta-material quad-band antenna for mobile application[J]. IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium, 2008:1-4.
- [5] Ciaias P, Staraj R, Kossias G, et al. Design of an internal quad-band antenna for mobile phones[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2004, 14(4): 1531-

- 1534.
- [6] Ying Z Z. Antennas in cellular phones for mobile communications[J]. Proceedings of the IEEE, 2012; 2286-2296.
- [7] Li J F, Chu Q X. Tri-band antenna with compact conventional phone antenna and wideband MIMO antenna[J]. Antennas and Propagation Society International Symposium, 2012; 1-2.
- [8] Tang C L, Sze J Y, Wu Y F. A compact coupled-fed pentaband antenna for mobile phone application[J]. Microwave Conference Proc., 2010; 2260-2263.
- [9] Ying L J, Ban Y L, Chen J H. Low-profile coupled-fed printed PIFA for internal seven-band LTE/GSM/UMTS mobile phone antenna[J]. 2011 Radio Science and Wireless Technology Conference, 2011; 418-421.
- [10] Bhatti R A, Seong-Ook P. Internal multiband monopole antenna for modern multifunctional mobile phones[J]. Applied Sciences & Technology, 2009; 93-95.
- [11] Cheng-Tse Lee, Kin-Lu Wong, Planar monopole with a coupling feed and an inductive shorting strip for LTE/GSM/UMTS operation in the mobile phone[J]. Transaction on antennas and Propagation, 2010, 58(7): 2479-2483.
- [12] Rowell C, Lam E Y. Mobile-phone antenna design[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2012, 54(2): 14-34.
- [13] Gao X, Zhang H. Low-Profile planar tripolar-ization antenna for WLAN communications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, 9(3): 83-86.
- [14] Fujimoto K. Mobile antenna systems handbook[M]. Norwood, MA, Artech House, 2008; 219-313.
- [15] Kivekas O, Ollikainen J, Lehtiniemi T, et al. Bandwidth, SAR and efficiency of internal mobile phone antennas[J]. Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2004, 46(2): 1012-1015.

(上接第73页)

- [3] Mohammad T, Farinaz K. A Survey of hardware Trojan taxonomy and detection[J]. IEEE Design And Test of Computers, 2010(1): 10-25.
- [4] Rajat S C, Seetharam N, Swarup B. Hardware Trojan: threats and emerging solutions[R]. 2009; 166-171.
- [5] Adee S. The hunt for the kill switch[J]. IEEE Spectrum, 2008, 45(5): 34-39.
- [6] DARPA, TRUST in integrated-circuits proposer information pamphlet, 2007. [Online]. Available: <http://www.Darpa.Mil/MTO/solicitations/baa07-24/index.html>.
- [7] 涂浩. 基于旁路分析的硬件木马设计实现[D]. 长沙: 国防科技大学, 2010.
- [8] Yier J, Nathan K, Yiorgos M. Experiences in Hardware Trojan design and implementation[C]. IEEE International Workshop on Hardware. Oriented Security and Trust (HOST), 2009; 50-57.
- [9] Defense Science Board. High performance microchip supply [EB/OL]. [2011-08-11]. http://www.acq.osd.mil/dsb/reports/2005-02-HPMS_Report_Final.pdf.
- [10] Tehranipoor M, Sunar B. Hardware Trojan Horses. [EB/OL] <http://www.springerlink.com/content/r1h6518t98x10411>, 2010.
- [11] Rad R M, Wang X X, Monhammad T, et al. Power supply signal calibration techniques for improving detection resolution to hardware Trojans[C]//Int Conf Comp Aid Des, San Jose, NJ, USA, 2008. 632-639.
- [12] Wang X X, Salmani H, Tehranipoor M, et al. Hardware Trojan detection and isolation using current integration and localized current analysis[C]// Proc. IEEE Int'l Symposium on Fault and Defect Tolerance in VLSI Systems, 2008; 87-95.
- [13] Reza M, Rad, Wang X X, et al. Power supply signal calibration techniques for improving detection resolution to hardware Trojans[C]// Int. Conf. Computer-Aided Design, 2008; 632-639.
- [14] Seetharam N, Du D D, Rajat S C et al. Multiple-parameter side-channel analysis: a non-invasive hardware Trojan detection approach[C]// IEEE International Symposium on Hardware-Oriented Security and Trust (HOST). USA, 2010; 13-18.
- [15] Agraeal D, Baktir S, Karakoyunlu D, et al. Trojan detection using IC fingerprinting[C]// 2007 IEEE Symp Security and Privacy. Oakland.