

文章编号: 1000-5862(2015)02-0145-05

一种基于介质基座的内置多频带 4G LTE 手机天线

喻易强^{1,2}, 谢杰亮¹, 张红梅¹, 张晓燕^{1,2}, 刘志伟^{1,2}, 刘海文^{1,2}

(1. 华东交通大学信息工程学院 江西 南昌 330013; 2. 江西省射频通信与传感器网络重点实验室 江西 南昌 330013)

摘要: 提出了一种紧凑型内置多频段的 4G LTE 手机天线, 天线辐射体由一个倒“L”贴片和一个阶梯型的折叠微带线的耦合结构构成. 天线有 3 个工作频段: 694 ~ 1 110 MHz、1 690 ~ 2 310 MHz 和 2 480 ~ 2 860 MHz, 涵盖了 LTE/GSM/UMTS 等目前无线通信服务中正在使用的频率, 也能够支持当前大部分的 2G/3G/4G 通信网络. 该天线使用单极子和电磁耦合的结构来实现多谐振点和大带宽, 整个天线是印刷在介电常数为 4.4 的 FR-4 介质基座上. 天线体积仅有 40 mm × 12.5 mm × 5 mm, 全向性的水平方向图、良好的增益和效率以及小型化的设计使得该天线在各类 4G LTE 移动终端上具有良好的应用前景.

关键词: 多频段; 4G LTE; 耦合; 介质基座

中图分类号: TN 454 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2015.02.06

0 引言

近年来, 随着移动通信技术的发展, 应用于移动终端的频段也越来越多, 且目前移动通信技术正全面从 3G 向 4G LTE (Long-Term Evolution) 演化^[1], 这就要求手机天线能够同时多频段乃至全频段上工作. 目前, 由于智能手机的发展, 用户对手机的要求也越来越多, 希望其功能多样化, 但要实现这些就必须加上一些功能元件, 这就要求设计的天线更小, 并且手机天线小型化是手机天线的必然趋势. 近几十年来, 很多研究者在天线小型化和多频段要求上做了大量的工作^[2-7], 其中有一个频率红利 LTE 700, 它较长的波长与有限的移动设备体积存在着矛盾, 再加上天线需要支持多频段, 这就给天线设计者提出了更大的挑战. 为了解决在有限的设备体积内集成小尺寸天线这个难题, 提出了电磁耦合结构和弯折单极子的方法, 对于 4G LTE 天线设计来说, 这是一个行之有效的解决方法.

在本文中, 提出了一种基于 FR-4 介质基座的小尺寸内置多频带手机天线, 该天线没有加载任何集总元件. 天线采用了电磁耦合结构和弯折单极子的方法, 实现了 3 个大带宽, 分别是 694 ~ 1 110 MHz、1 690 ~ 2 310 MHz 和 2 480 ~ 2 860 MHz, 能够覆盖

LTE 700 (698 ~ 787 MHz), GSM 850 (824 ~ 894 MHz), GSM 900 (880 ~ 960 MHz), DCS 1 800 (1 710 ~ 1 880 MHz), PCS 1 900 (1 850 ~ 1 990 MHz), UMTS (1 920 ~ 2 170 MHz) 和 LTE 2 500 (2 500 ~ 2 690 MHz). 对比于以前的工作, 本文提出的手机天线有着尺寸小和大带宽等优势^[1, 8-11], 适用于小尺寸移动终端, 如智能手机、平板电脑等.

1 天线结构与设计

天线基本结构如图 1 所示, 深色部分表示的是金属铜片. 图 1 给出了天线的 3 维立体结构, 天线印刷在 FR-4 介质基座 (图中透明部分) 上, 其尺寸和天线一致, 为 $W_g \times W_m \times H_s$, 相当于 $0.09\lambda_0 \times 0.029\lambda_0 \times 0.012\lambda_0$, 此处 λ_0 是 LTE 700 的波长. 印刷有天线的介质基座安装在另一个大的 FR-4 介质板上, 其尺寸是 120 mm × W_g × 1 mm, 另外天线的接地面尺寸为 L_g ($L_g = 105$ mm) × W_g × 1 mm. 该天线的辐射部分主要由 2 个部分组成, 一部分是倒“L”金属贴片结构, 另一部分是阶梯型折叠微带线谐振结构, 其中倒“L”金属贴片结构的一面连接阻抗为 50 Ω 的微带馈线, 另一面与阶梯型折叠微带线构成耦合结构以扩展低频带宽, 并且倒“L”金属贴片对高频段也有一个频带贡献. 阶梯型的折叠微带

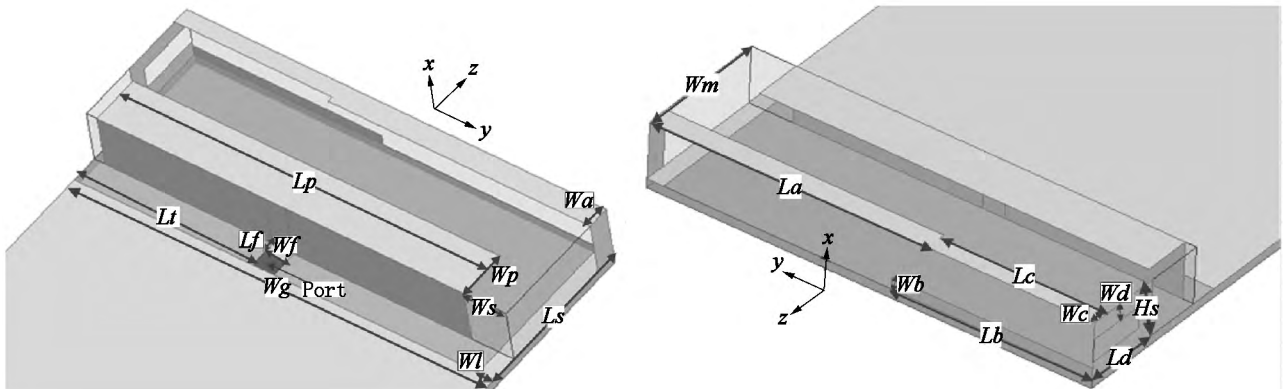
收稿日期: 2014-12-02

基金项目: 毫米波国家重点实验室课题 (K201325), 国家自然科学基金 (61061002), 赣鄱英才 555 工程柔性引进人才项目 (ZXSJ-0007) 和江西省教育厅科技课题 (GJJ13352) 资助项目.

作者简介: 喻易强 (1980-), 男, 湖北宜昌人, 教授, 博士, 主要从事计算电磁学、电磁兼容与电磁防护技术设计、天线设计与测量和无线能量传输的研究.

线谐振结构与接地面相连,实现了对低频段 LTE/GSM 的覆盖.倒“L”金属贴片结构尺寸为 $35\text{ mm} \times 9.5\text{ mm}$,其在高频段产生了一个频率为 $2\,570\text{ MHz}$ 的谐振频率,频率范围为 $480 \sim 2\,860\text{ MHz}$,覆盖了 LTE 2 500 频段.阶梯型折叠微带线谐振结构主要用于实现 1 GHz 以下频段的覆盖,该结构实现了 $694 \sim 1\,110\text{ MHz}$ 的频带,覆盖了最难实现的 LTE 700/GSM 850/GSM 900 低频段,另外低频宽频带的获得还有一个原因:通过倒“L”贴片结构和阶梯型折叠

微带线谐振结构之间的耦合改善了低频阻抗,从而增加了低频段谐振点,实现了低频宽频带.此外,阶梯型折叠微带线谐振结构在高频段也贡献了高次谐振模,称之为倍频,并且由于阶梯型折叠微带线谐振结构和倒“L”贴片结构之间的耦合,实现了 $1\,690\text{ MHz} \sim 2\,310\text{ MHz}$ 的频段.由上述所有实现的频段联合,一个有着较宽的带宽 4G LTE 天线实现了.



$W_g = 40\text{ mm}$, $W_m = 12.5\text{ mm}$, $L_t = 16.9\text{ mm}$, $W_l = 1.5\text{ mm}$, $L_s = 15\text{ mm}$, $W_s = 4\text{ mm}$, $W_p = 4.5\text{ mm}$, $L_p = 35\text{ mm}$, $L_a = 25\text{ mm}$, $W_a = 2\text{ mm}$, $L_c = 15\text{ mm}$, $W_c = 1.5\text{ mm}$, $L_d = 5.6\text{ mm}$, $W_d = 1.5\text{ mm}$, $W_f = 2\text{ mm}$, $L_f = 1\text{ mm}$, $L_b = 19.1\text{ mm}$, $W_b = 1\text{ mm}$, $H_s = 5\text{ mm}$.

图1 天线结构图及其尺寸

2 天线结果与分析

图2 为天线仿真和测试的反射系数 S_{11} 图,从图2 可以看出,天线有3 个分别独立的工作频带,低频段为 $694 \sim 1\,110\text{ MHz}$,绝对带宽为 416 MHz ,相对带宽达到了 46.1% ,中频段为 $1\,690 \sim 2\,310\text{ MHz}$,绝对带宽为 620 MHz ,相对带宽为 31% ,高频段为 $2\,480 \sim 2\,860\text{ MHz}$,绝对带宽为 380 MHz ,相对带宽为 10.5% ,这3 个工作频带覆盖了 LTE 700, GSM 850, GSM 900, DCS 1 800, PCS 1 900, UMTS, LTE 2 500. 图3 为天线反射系数 S_{11} 的仿真结果与倒“L”贴片的长度 L_p 的关系,从图3 观察到倒“L”贴片的长度 L_p 对天线在低频和高频的反射系数都会产生较大的影响,不容忽视.

因此,有必要选出一个最佳的尺寸,根据 HFSS V13 仿真优化的结果,并综合考虑3 个工作频带的范围,选择 35 mm 是最优的.此外,因为移动终端特别是智能移动终端需要实现更多的功能,这就要求天线的接地板有一定的大小来安装更多的功能元件,因此研究接地板尺寸对天线性能的影响就显得至关重要,图4 给出了在接地面尺寸不同的情况下

反射系数 S_{11} 的仿真结果.从图4 可以得出这样的结论:接地面的长度对高频段的影响较小,但是对于低频段却有着巨大影响,随着接地面长度的增加,低频性能有着较大的改善,为了保证移动终端的带宽要求和天线正常辐射性能,接地面的长度不应小于 105 mm .

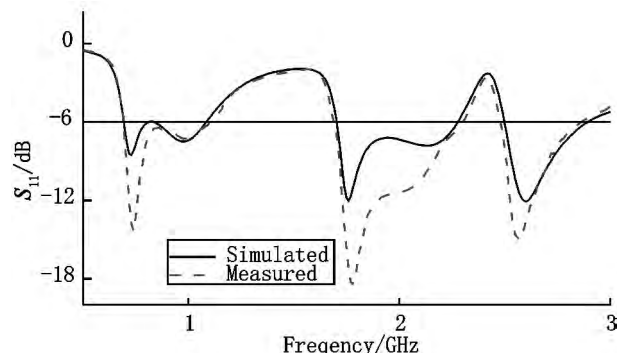


图2 天线反射系数 S_{11} 仿真结果与测试结果对比图

图5 详细地描绘了天线的增益和效率,从图5 得出在低频段的增益是 $1.36 \sim 2.50\text{ dBi}$,在中频段的增益为 $1.66 \sim 5.61\text{ dBi}$,在高频段的增益为 $1.22 \sim 4.54\text{ dBi}$,并且从图5 中观察到,在低频段的效率大于 49.2% ,在中频段的效率大于 54.8% ,在高频段的效率大于 44.7% ,因此天线的增益和效率是满足

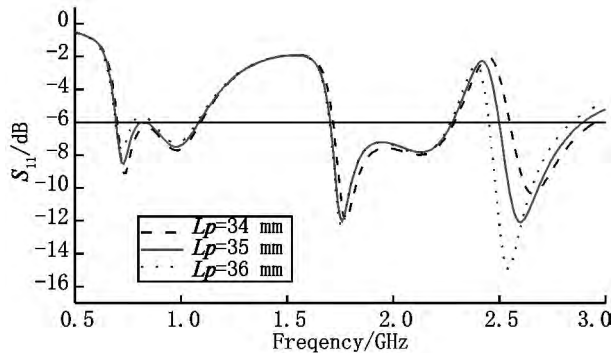


图 3 不同长度的 LP 对天线反射系数 S_{11} 的影响

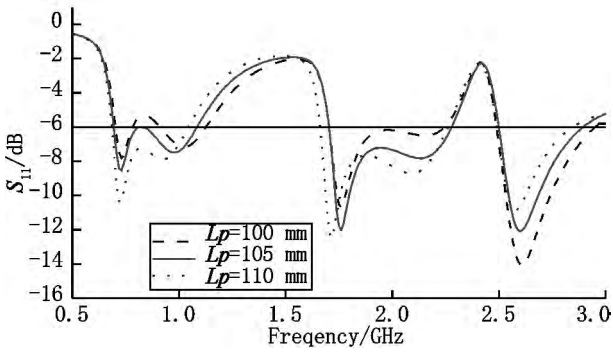


图 4 不同长度的接地面 L_g 对天线反射系数 S_{11} 的影响

4G LTE 天线要求的. 图 6 给出了天线在 700 ,850 , 960 ,1 850 2 170 和 2 600 MHz(分别是 LTE/GSM/ UMTS 的中心或边缘频率) 频率上的 3 个面的测试辐射方向图. 从测试结果中可看到, 在各频率上辐射方向图的 xy 面是一个圆形, 在较低频率上 xz 、 yz 面是一个“8”字形, 但是在较高频率上, 由于 $1/4$ 的波长相对小于接地板的长度, 导致辐射方向图在 xz 、 yz 面上有一定的畸变^[12-13]. 通过图中主极化 E_θ 和交叉极化 E_ϕ 对比可知, 该天线是一个线极化天线. 本方向图显示出天线具有良好的方向性和极化特性, 满足当前智能移动终端的方向性要求.

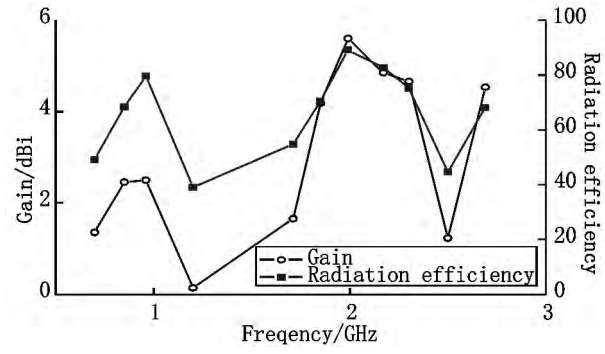


图 5 天线的实测增益和效率

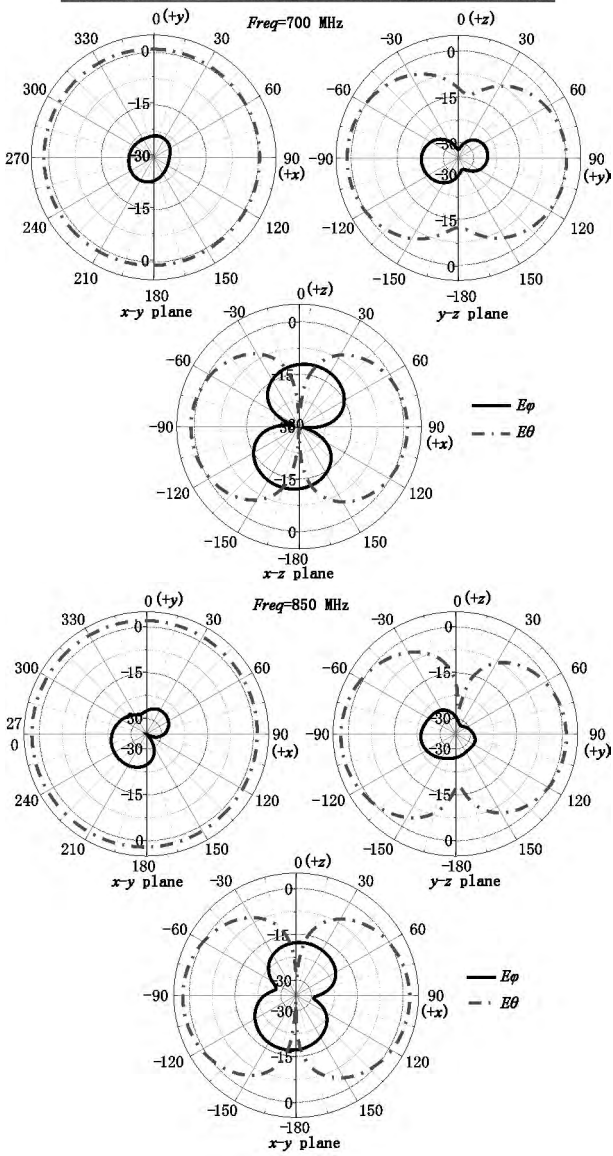
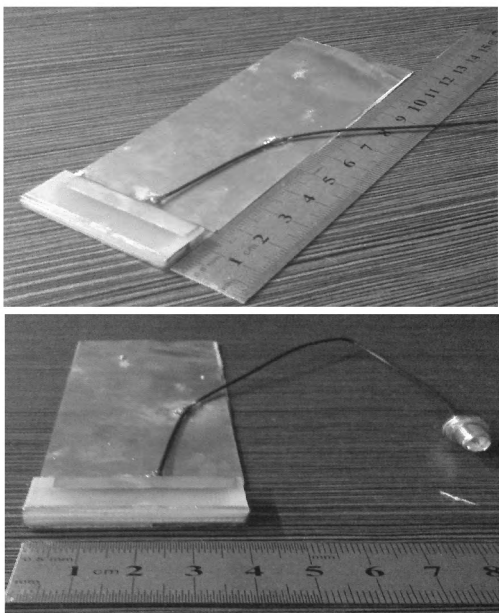


图 6 实物图和实测的辐射方向图

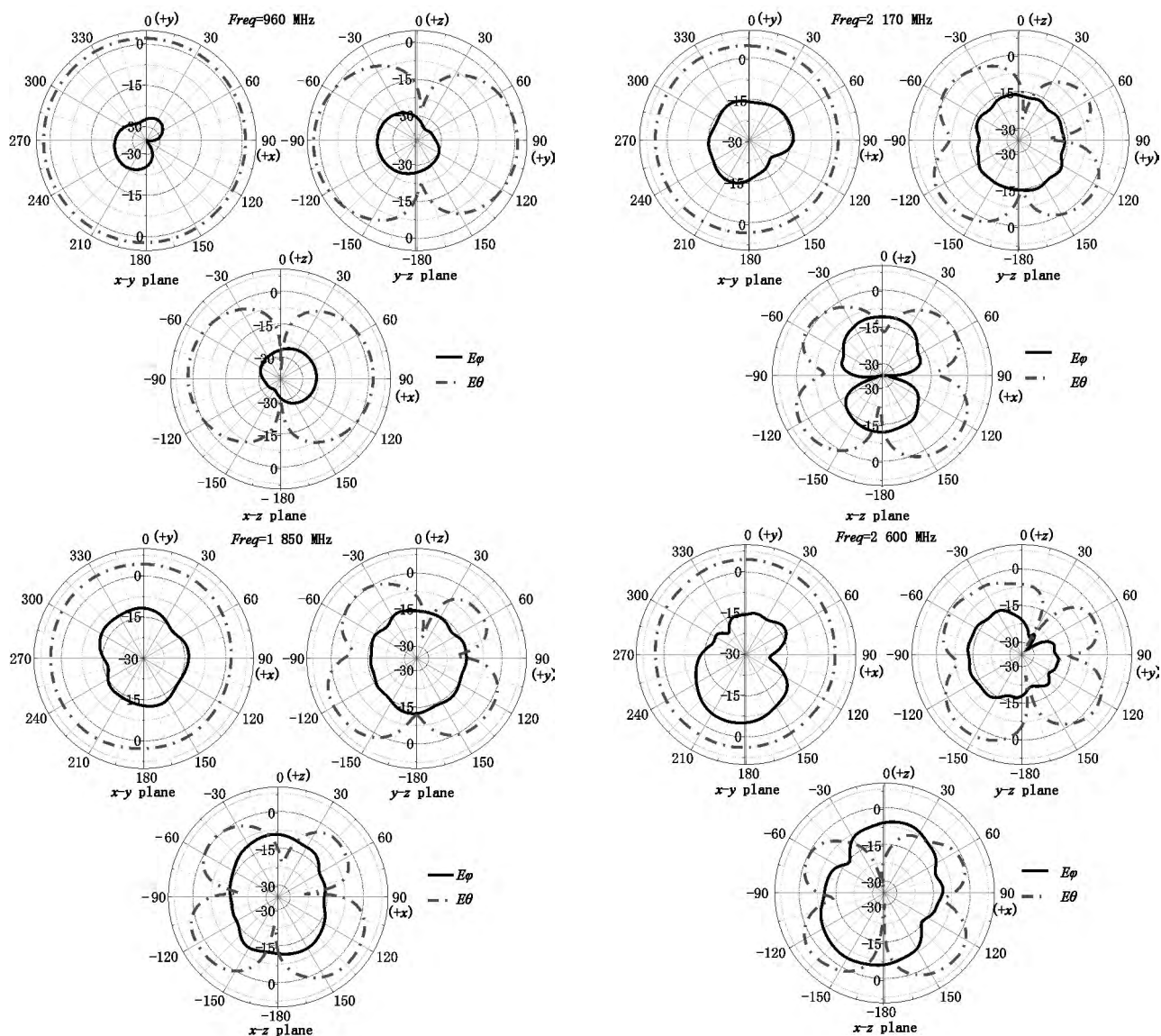


图6(续)

3 结论

本文提出了一种内置多频带 4G LTE 手机天线, 天线有着非常简单的 3 维结构, 并且尺寸仅有 $40\text{ mm} \times 12.5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, 天线印刷在一个具有相同尺寸的介质基座上, 仿真结果和测试结果表明天线拥有 3 个很宽的带宽, 覆盖了 LTE 700/GSM 850/GSM 900/DCS 1800/PCS 1900/UMTS/LTE 2500 等无线通信频段. 由于天线具有良好的性能、较宽的频段和紧凑型结构, 使它能够运用在各类移动终端设备中.

4 参考文献

- [1] Chan-Woo Yang, Young-Bae Jung, Chang Won Jung. Octaband internal antenna for 4G mobile handset [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 2011, 10: 817-819.
- [2] Yu Yiqiang, Jolani F, Chen Zhizhang. A wideband omnidirectional horizontally polarized antenna for 4G LTE applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 2013, 12: 686-689.
- [3] Shadrokh S, Yu Yiqiang, Farid Jolani, et al. Ultra-compact end-loaded planar dipole antenna for ultra-wideband radar and communication applications [J]. Electronic Letters, 2014, 21: 312-313.
- [4] RenYuJiun. Ceramic based small LTE MIMO handset antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Wireless Propagation 2013, 61(2): 934-938.
- [5] Valkonen R, Ilvonen J, Icheln C, et al. Inherently non-resonant multi-band mobile terminal antenna [J]. Electronics Letters 2013, 49(1): 11-13.
- [6] Shadrokh S, Yu Yiqiang, Farid Jolani, et al. Design of a

- high-gain ultra-wideband planar dipole antenna using LC tanks, chip resistors, and dual-layer frequency selective surface [J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2014, 56(10): 2369-2373.
- [7] 薛睿峰, 钟顺时. 微带天线小型化技术 [J]. *电子技术*, 2002(3): 62-64.
- [8] Kang Dogu, Park J, Lee S, et al. Planar printed shorted monopole antenna with coupled feed and stub for LTE/WWAN mobile handset applications [EB/OL]. [2012-01-17]. <http://www.hindawi.com/journals/ijap/2013/151864/>.
- [9] Baek S, Jee Y. Compact integrated monopole antenna with CPW-fed meander resonators [J]. *Electronic Letters*, 2011, 47(2): 79-80.
- [10] 姜铁华, 苏东林, 丁轲佳. 含有寄生单元的倒F天线分析与设计 [J]. *微波学报*, 2008, 24(1): 35-39.
- [11] 张予青, 段成华. 一种新型三频段内置天线的设计 [J]. *无线电工程*, 2009(9): 31-32.
- [12] Wong Kinlu, Chen Weiyu, Wu Chunyh, et al. Small-size internal eight-band LTE/WWAN mobile phone antenna with internal distributed LC matching circuit [J]. *Microw Opt Technol Lett*, 2009, 52(10): 2244-2250.
- [13] Kang Tingwei, Wong Kinlu. Internal printed loop monopole combo antenna for LTE/GSM/UMTS operation in the lap-top computer [J]. *Microw Opt Technol Lett*, 2010, 52(7): 1673-1678.

An Internal Multiband Antenna for 4G LTE Mobile Terminals on a Support

YU Yiqiang^{1,2}, XIE Jieliang¹, ZHANG Hongmei¹, ZHANG Xiaoyan^{1,2}, LIU Zhiwei^{1,2}, LIU Haiwen^{1,2}

(1. College of Information Engineering, East China Jiao Tong University, Nanchang Jiangxi 330013, China;

2. Key Laboratory of Radio Communication and Sensor Networks of Jiangxi Province, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: An internal multiband 4G LTE antenna that is composed of a coupled structure with an inverted-L patch and a step-shape forked strip is presented. The antenna has three operating bandwidths 694 ~ 1 110 MHz, 1 690 ~ 2 310 MHz and 2 480 ~ 2 860 MHz to cover LTE/GSM/UMTS, therefore, the proposed antenna can support most current 2G/3G/4G wireless communication network services. The antenna utilizes monopole and electromagnetic coupling structures to realize multi-resonance and broadband, the limited volume of the antenna is only 40 mm × 12.5 mm × 5 mm which is printed on a same size of FR-4 support (FR-4; $\epsilon_r = 4.4$). Omnidirectional horizontal diagram, good gain and radiation efficiency and miniaturized size make the antenna very prospective in various 4G LTE mobile terminals.

Key words: multiband; 4G LTE; electromagnetic coupling structures; support

(责任编辑: 冉小晓)