

孙玉发, 胡少启, 周东, 等. 一种小型化八频段可重构手机天线设计[J]. 电波科学学报, 2015, 30(6): 1170-1174+1181. doi: 10.13443/j.cjors.2014120103

SUN Yufa, HU Shaoqi, ZHOU Dong, et al. Design of a compact mobile phone antenna with octa-band reconfigurable characteristics [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2015, 30(6): 1170-1174+1181. (in Chinese). doi: 10.13443/j.cjors.2014120103

一种小型化八频段可重构手机天线设计

孙玉发¹ 胡少启¹ 周东¹ 王仲根² 杨明¹

(1. 安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 合肥 230039;

2. 安徽理工大学电气与信息工程学院, 淮南 232001)

摘要 提出了一种新型频率可重构的手机天线, 尺寸为 $43\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 3\text{ mm}$. 该天线由曲折馈电枝节、耦合枝节, 以及多路射频开关(RF-Switch)组成. 通过 RF-Switch 接入不同的电感改变天线的感抗值和带线的有效电长度, 在低频段得到了四种不同的工作状态, 天线的低频带宽显著增加. 研究表明: 所设计天线能够很好地覆盖长期演进(Long Term Evolution, LTE)、无线广域网(Wireless Wide Area Network, WWAN)八个频带且频段内回波损耗小于 -6 dB . 实测表明天线具有良好的辐射效率和辐射增益, 能够实现全向覆盖, 具有很好的应用前景.

关键词 射频开关; 多频段; 频率可重构; 小尺寸手机天线

中图分类号 TN822 **文献标志码** A **文章编号** 1005-0388(2015)06-1170-06

Design of a compact mobile phone antenna with octa-band reconfigurable characteristics

SUN Yufa¹ HU Shaoqi¹ ZHOU Dong¹ WANG Zhonggen² YANG Ming¹

(1. Key Lab of Intelligent Computing & Signal Processing, Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China; 2. College of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract A novel frequency reconfigurable mobile phone antenna of $43\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ in size is proposed. The proposed antenna consists of meander feeding strip, coupling strip and multichannel RF-Switch. To achieve the resonant modes of lower band among four different working states, the RF-Switch is used to change the inductance value and the effective electrical length of the feed line. The lower band bandwidth of the antenna is expanded obviously. The research results show that long term evolution (LTE) and wireless wide area network (WWAN) can be covered by the proposed antenna with the return loss better than 6 dB . The proposed antenna was fabricated and measured, good performances of the radiation efficiency, antenna gain and radiation patterns are obtained. It has the good prospects for the applications.

Key words RF-Switch; multi-band; frequency reconfigurable; compact mobile phone antenna

收稿日期: 2014-12-01

资助项目: 国家自然科学基金(No. 61172020, No. 61401003); 高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20123401110006); 安徽省振兴计划地方高水平大学建设(No. 2013gx001)

联系人: 孙玉发 E-mail: yfsun_ahu@sina.com

引言

随着现代无线通讯技术的快速发展,轻便、高传输速率、多功能成为移动设备的新特点.因此,小型化、多频段、超宽带天线的设计对于移动设备的发展有着重要的意义.可重构天线^[1-4]的提出与应用可以很好地解决天线设计中小型化和多频段覆盖问题.从目前的研究来看,传统的单极子天线^[5-6],采用增大天线的尺寸和增加天线的结构复杂度来扩展天线的工作频段和带宽,天线尺寸分别为 65 mm×11 mm×8.5 mm 和 55 mm×10 mm×8 mm,很难应用于移动设备中,且制作加工难度大.文献[7-9]中给出了三款利用 PIN 二极管作为开关改变天线的辐射结构来实现频率可重构.文献[10]通过改变地板面积的大小实现了双频重构.但文献[7-10]所设计的天线覆盖的工作频段较少,不能够很好地应用于多功能移动设备中.对于多频段可重构手机天线设计,文献[11-12]提出了利用匹配桥和 PIN 二极管改变天线馈电结构的方法,实现了五频段覆盖,天线尺寸都为 60 mm×5 mm×5 mm,且天线结构复杂,重构方式机械,不适用于超薄手机设备.文献[13-14]提出了利用微机电系统(Microelectro Mechanical Systems, MEMS)可调电容和一些其他方法实现频率可重构.然而以上设计的天线并不能解决移动设备的 LTE/WWAN 全频段覆盖,且制作加工复杂、成本高、尺寸较大、实际利用价值不大.

针对以上设计天线的不足,设计了一款新的频率可重构手机天线.该天线通过 RF-Switch 控制接入不同值的电感,改变了天线的感抗值和有效电长度,实现了频率可重构.该天线能够完成对移动设备的 LTE/WWAN 全频段覆盖,具有重构方式简单、尺寸小、频带宽、易于加工等优点.文中天线能够覆盖 LTE700/GSM850/900、DCS1800/PCS1900/UMTS 2100/LTE2300/2500 八个频段(低频段 698~960 MHz,高频段 1 710~2 690 MHz),且回波损耗小于-6 dB,实测表明天线具有良好的辐射效率和增益,实用性很强.

1 频率可重构天线设计

天线结构与尺寸如图 1 所示.天线被安放在介质基板的左上角,背部地板采用镂空处理.天线基板尺寸为 120 mm×60 mm,介质,基片材料采用相对介电常数为 4.4,损耗角正切为 0.02,厚度为 0.8 mm 的环氧树脂(FR-4).天线尺寸仅为 43 mm×9

mm×3 mm,而背部地板镂空尺寸为 45 mm×10 mm,镂空部分和天线之间微小的间隙将会降低耦合效应对天线性能的影响.天线主要由带线 1、带线 2、回形带线和 RF-Switch(PE42440)四部分组成.其中带线 1、带线 2 为两个不同长度的短路条,带线 1 经 RF-Switch 接地,带线 2 则连接到射频芯片的 RFC 端,通过 RF-Switch 选择不同的电感作用于带线 2 枝节来实现低频段的频率重构.回形带线的长度约为 $0.66\lambda_{\text{eff}}$, λ_{eff} 表示天线在谐振频率点的有效波长,可以计算为

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{c}{f_{\text{res}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (1)$$

式中: c 为真空中的光速; f_{res} 为天线的谐振频率; ϵ_{eff} 为有效介电常数,其值约为 $\frac{\epsilon_r + 1}{2}$, ϵ_r 为介质基板的相对介电常数.

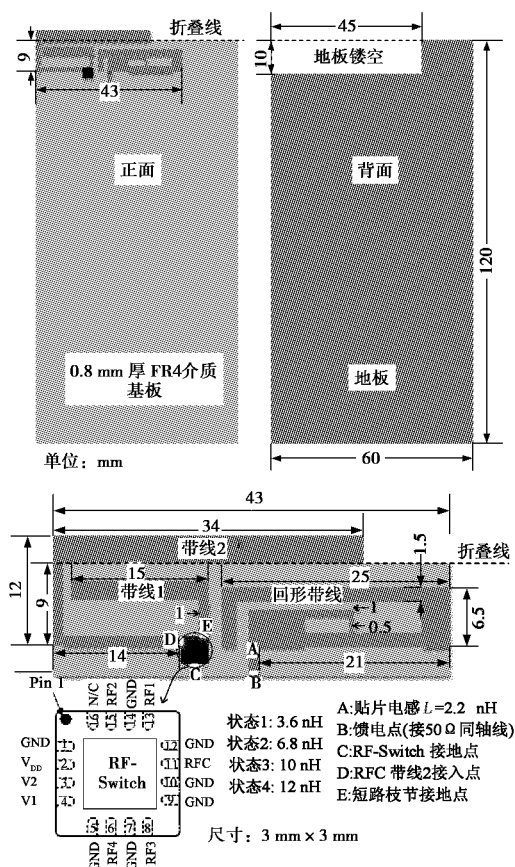
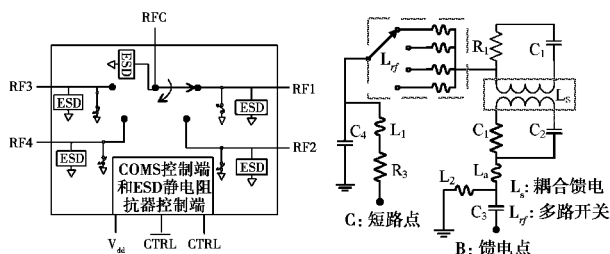


图1 天线的结构与尺寸

RF-Switch 的原理图如图 2(a)所示.利用 RF-Switch 多路选择的特点,得到低频段四种不同的工作状态.由图 2(b)可知,多路 RF 端口分别接上不同的电感,进而改变天线枝节的有效电长度,实现四次频率重构. RF-Switch 功能表及工作状态如表 1 所

示,其中 $V_2 V_1$ 为 RF-Switch 控制输入端.由表 1 可知经过四次重构可以得到 680~752 MHz、728~825 MHz、810~885 MHz、866~990 MHz 四个频段,能够很好地覆盖 LTE700/GSM850/900 三个工作频段.



(a) RF-Switch 芯片原理图 (b) 等效电路图

图 2 RF-Switch 芯片原理图和等效电路

表 1 RF-Switch 芯片功能表及工作状态

状态	接通开关	$V_2 V_1$	工作频段/MHz
1	RF1	00	866~990
2	RF2	10	810~885
3	RF3	01	728~825
4	RF4	11	680~752

2 实验结果与分析

天线实物如图 3 所示.图 3(a)为天线的正面结构,RF-Switch 由导线连接至 5 V 稳压电源.天线的回波损耗如图 4 所示.仿真结果由 Ansoft HFSS13.0 仿真得到.由图 4 可知,测试结果与仿真结果基本吻合,存在的偏差主要是由制作加工工艺和测试设备的影响造成.实测带宽分别为:低频段 310 MHz(680~990 MHz)和高频段 1 010 MHz(1 690~2 700 MHz).能够很好地覆盖 LTE/WWAN 八个频段.

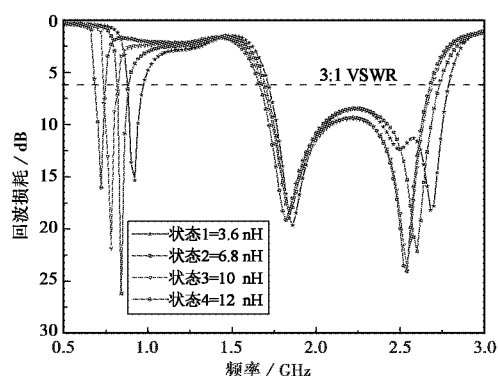


(a) 正面

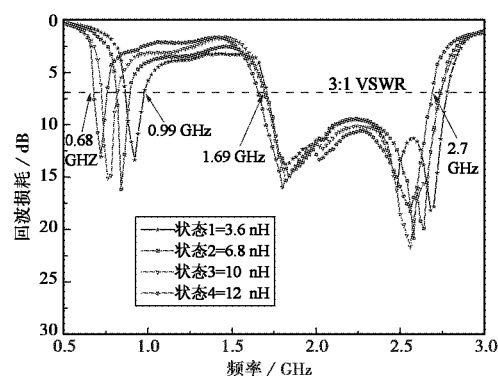


(b) 背面

图 3 天线实物图



(a) 仿真



(b) 测试

图 4 天线的回波损耗

为了更好地了解天线性能与结构间关系,分别对天线的表面电流分布和辐射枝节对天线性能的影响进行了讨论.天线工作在不同频率时的表面电流分布如图 5 所示,此时 RF-Switch 工作在状态 2.由图 5 可知,带线 2 辐射枝节上有着很强的表面电流,低频段谐振(0.84 GHz)主要由带线 2 辐射枝节所产生.对于高频谐振部分,其表面电流相对较弱,1.84 GHz 是由回形带线激发所产生,2.60 GHz 则是由短路枝节带线 1 激发所产生.

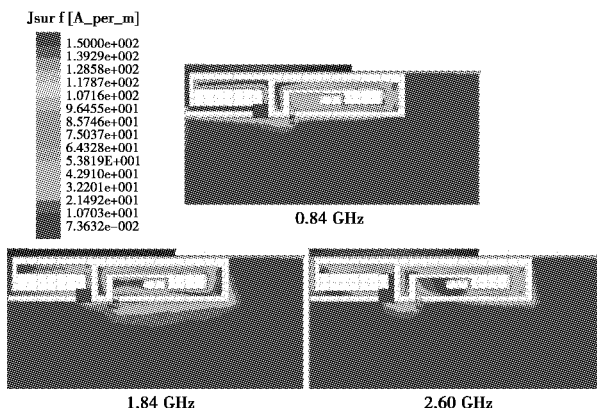


图 5 天线在不同频率的表面电流分布

结构 1、结构 2 和文中天线的回波损耗如图 6 所示. 由图可知: 结构 1(回形带线)单独作用时, 产生一个频率约为 2 GHz 的谐振点; 结构 2(回形带线和带线 1)作用时, 结构 1 产生的谐振点将会向左偏移, 同时增加了一个高频谐振点. 加入辐射枝节带线 2 后, 即文中天线, 又增加了一个低频谐振点, 该谐振点由辐射枝节带线 2 和回形带线辐射枝节耦合激发产生. 结合天线的表面电流分布, 能够充分说明各枝节在天线结构中的作用和对天线性能的影响.

天线在工作状态 2 的实测辐射方向图如图 7 所示. 由图可知: 0.84 GHz 和 2.60 GHz 在 xoz 面(E 面)表现出双向辐射特性, 对应的方向图与四分之一波长的单极子天线方向图相似, 而在 $yo z$ 面(H 面)具有很好的全向辐射特性; 1.84 GHz 时 xoz 面(E 面)和 $yo z$ 面(H 面)辐射方向图都呈现出全向性辐射特性, 且增益变化幅度较小, 交叉极化相对较小.

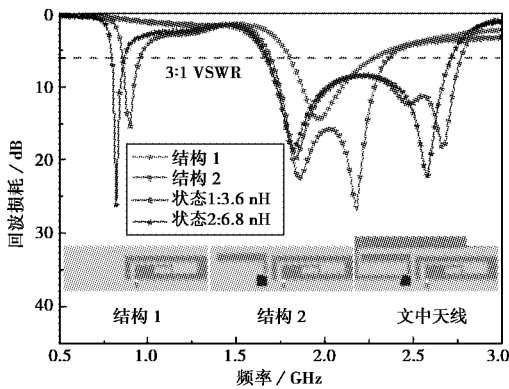


图 6 结构 1、结构 2 和文中天线的回波损耗

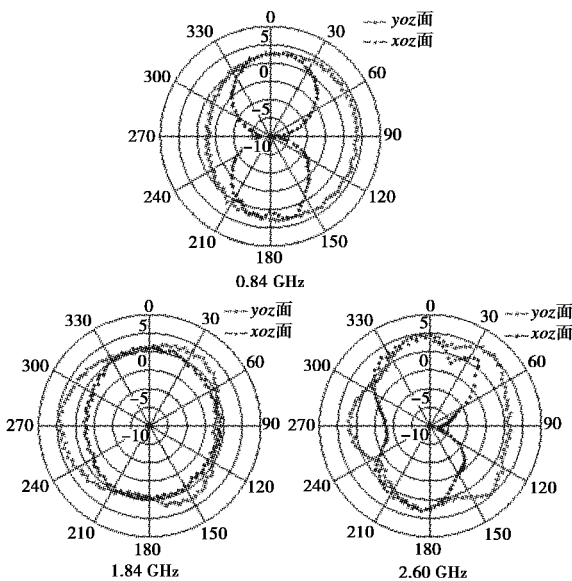
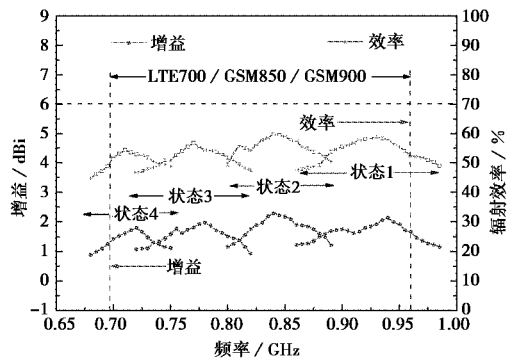


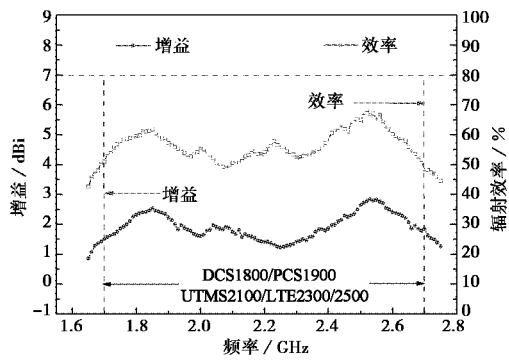
图 7 天线的辐射方向图

由测试结果可知: 文中天线能够很好地满足通信系统中全向辐射这一特点, 具有稳定的辐射性能.

天线效率和增益的测试结果如图 8 所示. 由图 8 可知: 在低频段, 由于天线工作状态不同, 天线的增益在 0.7~2.3 dBi 之间变化, 天线的效率大于 45%; 在高频段, 天线增益在 0.9~2.8 dBi 之间变化, 天线效率大于 40%. 能够很好地满足手机通信系统的要求, 具有很高的工程应用价值.



(a) 低频段



(b) 高频段

图 8 天线的增益和效率

表 2 天线结构、尺寸及覆盖带宽比较

	天线结构	尺寸/(mm×mm×mm)	覆盖频段/MHz
文献[6]	T-shape Monopole	55×10×8	704~960 1 710~2 690
文献[12]	Loop and IFA	60×5×5	824~960 1 710~2 170
文中天线	RF-Switch 重构	43×9×3	680~990 1 690~2 700

文中天线与文献[6]、[12]中的天线结构、尺寸及覆盖频段对比如表 2 所示. 由表 2 可知: 文献[6]中天线采用 T 形单极子结构, 虽能覆盖八个手机工作频段, 但天线尺寸较大, 8 mm 的天线高度很难适用于超薄手机; 文献[12]则采用双天线结构, 较文献

[6]中的天线体积减小了 66%,但是天线的覆盖频段也随之减少,未能覆盖 LTE700/2300/2500 三个工作频段;文中天线体积较文献[6]减小了 74%,可以覆盖八个工作频段,且结构简单,易于加工制作。

3 结 论

设计了一款新型的实用小尺寸频率可重构手机天线,该设计通过将 RF-Switch 应用于天线结构中,使天线能够实现对 LTE/WWAN 频段的全覆盖。利用 RF-Switch 开关调节天线的感抗值,实现对低频段的频率可重构,对高频段基本没有影响,能够明显地扩展天线的带宽。实验结果表明:可重构天线能够覆盖 LTE700/GSM850/900、DCS1800/PCS1900/UMTS2100/LTE2300/2500 八个工作频段,且回波损耗小于-6 dB,天线具有很好的辐射效率和增益,能够实现全向覆盖。实测结果与仿真结果吻合良好,表明该天线能够很好地实现频率可重构特性。该天线制作尺寸小、重构方式简单、各频带间相对独立、性能优良且具有很高的实用价值。

参考文献

- [1] SCHAUBERT D, FARRAR F, HAYES S, et al. Frequency-agile, polarization diverse microstrip antennas and frequency scanned arrays: US, 4367474 [P]. 1983-01-04.
- [2] 肖绍球,王秉中. 微带可重构天线初步探讨[J]. 电波科学学报, 2002, 17(4): 386-390.
XIAO Shaoqiu, WANG Bingzhong. Preliminary research on microstrip reconfigurable antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2002, 17(4): 386-390. (in Chinese)
- [3] 王安国,张家杰,王鹏,等. 可重构天线的研究现状与发展趋势[J]. 电波科学学报, 2008, 2(5): 997-1002.
WANG Angou, ZHANG Jiajie, WANG Peng, et al. Recent research and developing trends of reconfigurable antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 2(5): 997-1002. (in Chinese)
- [4] 田雨波,谭冠南. 频率可重构超宽带天线研究[J]. 电波科学学报, 2012, 27(2): 222-226.
TIAN Yubo, TAN Guannan. Frequency reconfigurable UWB antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2012, 27(2): 222-226. (in Chinese)
- [5] ZHAO G H, WANG A G, LENG W, et al. Wide-band internal antenna with coupled feeding for 4G mobile phone[J]. Microwave and Optical technology letters, 2013, 55(3): 513-516.
- [6] CHU F H, WONG K L. Internal coupled-fed dual-loop antenna integrated with a USB connector for WWAN/LTE mobile handset[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011, 59(11): 4215-4221.
- [7] SARANG P H, SHEVGAONKAR R K, CHANDORKAR A N. Optically controlled frequency-reconfigurable microstrip antenna with low photoconductivity[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014, 13: 99-102.
- [8] GE L, LUK K M. A band-reconfigurable antenna based on directed dipole[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(1): 64-71.
- [9] 王安国,陈彬,冷文,等. 一种小型化五频段可重构蝶形天线设计[J]. 电波科学学报, 2013, 28(1): 87-91.
WANG Angou, CHEN Bin, LENG Wen, et al. Design of a compact bowtie antenna with five-band reconfigurable characteristics[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2013, 28(1): 87-91. (in Chinese)
- [10] CHANG D C, LI H C. Novel reconfigurable loop antenna for compact mobile phone[C]//Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation, 2012: 818-821.
- [11] LI Y, ZHANG Z J, ZHENG J F, et al. Compact hepta-band reconfigurable loop antenna for mobile handset[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 10: 1162-1165.
- [12] LI Y, ZHANG Z J, FENG Z H, et al. A compact hepta-band loop-inverted F reconfigurable antenna for mobile phone[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012, 60(1): 389-392.
- [13] PRASADH R, PETTERT A, ROBERTO G, et al. Reconfigurable small antenna for mobile phone using MEMS tunable capacitor[C]//IEEE Loughborough Antennas & Propagation Conference, Loughborough, 2013: 354-357.
- [14] 王安国,赵国煌,冷文,等. 八频段手机天线设计[J]. 电波科学学报, 2013, 28(2): 255-260.
WANG Angou, ZHAO Guohuang, LENG Wen, et al. Design of an internal eight-band antenna for mobile phones[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2013, 28(2): 255-260. (in Chinese)
- [15] YANG S N, ZHANG C N, PAN H K, et al. Frequency reconfigurable antennas for multiradio wireless platforms[J]. IEEE Microwave Magazine, 2009: 66-83.

(下转第 1181 页)

作者简介



陈曦 (1983—), 男, 陕西人, 西安电子科技大学电磁场与微波技术专业讲师, 博士, 主要从事阵列天线理论与技术、宽带小型化天线理论与技术研究。



傅光 (1963—), 男, 陕西人, 西安电子科技大学电磁场与微波技术专业教授, 主要从事微带天线、宽带线天线、阵列天线理论与技术的研究。



杨龙 (1988—), 男, 湖南人, 西安电子科技大学电磁场与微波技术专业博士研究生, 主要从事阵列天线技术、宽带小型化天线技术研究。

=====

(上接第 1174 页)

作者简介



孙玉发 (1966—), 男, 安徽人, 教授, 博士生导师, 研究方向为电磁散射与目标识别、计算电磁学、天线理论与技术等。

周东 (1990—), 男, 安徽人, 硕士研究生, 研究方向为导航天线设计、笔记本电脑天线设计。

王仲根 (1981—), 男, 江苏人, 讲师, 博士, 研究方向为计算电磁学、阵列信号处理。

胡少启 (1990—), 男, 安徽人, 硕士研究生, 研究方向为可重构天线设计、移动通信天线设计。