

文章编号 1005-0388(2008)02-0368-05

# 一种新型组合式多频带天线的设计与实现

郭辉萍<sup>☆</sup> 蔡文锋 刘学观 周朝栋

(苏州大学电子信息学院, 江苏 苏州 215021)

**摘要** 宽频带、多频段、小型化是移动通信天线发展的必然趋势,而组合式多频段天线是小型化的有效途径,但天线之间互耦的存在是实现小型化的瓶颈。本文将宽频带天线中有效辐射体的概念引入到组合式多频带天线设计中,并首次提出了辐射透明体的概念,通过合理的设计将不同频带工作的天线有机组合而构成结构紧凑的多频带天线。文中详细介绍了该组合式多频带天线设计的新思路,并用本文提出的思想设计制作了一副应用在移动通信条件下的四频段组合天线,给出了其驻波比、方向图、增益等测试数据。测试结果表明:用本文思路设计的天线,完全满足用户要求,为该类天线的设计提供了一种新的思想。

**关键词** 多频带天线;有效辐射体;透明体;去耦

**中图分类号** TN82

**文献标志码** A

## Design and realization of a new combined multi-band antenna

GUO Hui-ping CAI Wen-feng LIU Xue-guan ZHOU Chao-dong

(Soochow University, Suzhou Jiangsu 215021, China)

**Abstract** Wideband, multi-bands and miniaturization are the developing trend for mobile communication antenna. The mutual coupling between radiators is the neck of design to combined multi-band antenna. In this paper, the concept of effective radiator is discussed, and the idea about transparent radiator is proposed firstly. Through proper design, the multi-bands antenna, which combines with several separated antenna compactly, can be obtained. The design principle is introduced in detail. A multi-bands antenna for mobile communication is manufactured using the new design idea, and the measurement results of VSWR, directivity pattern and the gain are given. Experimental results show that the performance parameters of the antenna meet the user demand completely. This provides a way to design this kind of antenna.

**Key words** multi-bands antenna; effective radiator; transparent radiator; decoupling

## 1 引言

随着移动通信的发展,人们对天线提出了越来越高的要求,宽频带、多频段、小型化是天线发展的一个趋势<sup>[1~10]</sup>。Soon-Ho Hwang 等讨论了用于 CDMA/PCS 的双频手机天线<sup>[6]</sup>, Kin-Lu Wong 等

分析了移动电话用的低轮廓超宽频带天线<sup>[8]</sup>, Horng-Dean Chen 等研究了超宽频带方形缝隙天线<sup>[9]</sup>等等。

本文介绍了一种组合式多频带天线设计的新方法,其基本思想是针对各分立的频带选择符合设计要求的有效辐射体,并将这些有效辐射体有机地组

合到一起构成一副天线。将若干个工作于各个频段的辐射体组合在一起构成组合式多频带天线,其中产生的问题是这些辐射体相互邻近,相互间存在着耦合,这些耦合可以经馈电系统直接耦合,也可以通过感应场间接耦合。由于相互耦合的作用,必然改变单个辐射体的输入阻抗和方向图等电性能。由于各频带的辐射体在此组合中处于不同的位置与状态,相邻辐射体对它的影响也各异,这样就不能保证在各工作频带具有相近的性能,例如对移动通信而言,可能破坏了它的全向性。将各分立天线保持一定距离是解决互耦的一种方法,但又与移动通信设备的结构紧凑要求相违背,因此天线之间互耦的存在成为实现多频段天线小型化的瓶颈。

在组合天线的设计中需要解决的问题主要有三个,一是保证某频带输入的能量仅对该频带的有效辐射体馈电,不应馈入其他频带的辐射体;二是满足馈线与天线间的匹配条件;三是消除各频带工作的诸辐射体之间的互耦,使应处于沉寂状态的辐射体成为透明体。

## 2 设计思想

在宽频带天线中,在某个频点真正对远场起作用的仅仅是整个天线中的一部分。以振子型对数周期天线为例,仅在串联谐振点附近的3~4个振子起作用,称此为有效辐射区,而其余部分处于沉寂状态,将此概念应用到多频带天线的设计中。在所要求工作的频带中,把对远场做贡献的辐射体称为有效辐射体,而其余辐射体处于沉寂状态。理想状态下当有效辐射体在某一频带工作时,其他邻近的沉寂状态的辐射体应当是对此频带为透明体,我们称之为辐射透明体。事实上,由于辐射体之间互耦的存在,使应处于沉寂状态的辐射透明体也对有效辐射体产生负面影响。

下面以组合式双频带天线(如图1所示)为例说明设计原理。设两频带的中心频率分别为 $f_1$ 和 $f_2$ , $A_{n1}$ 和 $A_{n2}$ 分别设计为工作在频率 $f_1$ 和 $f_2$ 的两个独立天线,此天线均应满足设计要求(如方向图、增益、工作频带宽度、极化等),对 $f_1$ 的输入能量将馈入 $A_{n1}$ , $A_{n1}$ 是这一频带的有效辐射体。同理 $A_{n2}$ 为另一频带的有效辐射体,图中 $B_{n1}$ 和 $B_{n2}$ 的作用有四:一是滤波,即当 $f_1$ 信号进入时, $B_{n1}$ 为通带而 $B_{n2}$ 为阻带,同理当 $f_2$ 进入时仅能通过 $B_{n2}$ ;二是相位调节,通过电抗性元件调节馈电电流的相位,起缩短或延长辐射体的作用;三是匹配,即保证有效辐射体

与馈线的匹配;四是去耦,消除各频带工作的诸辐射体之间的互耦。

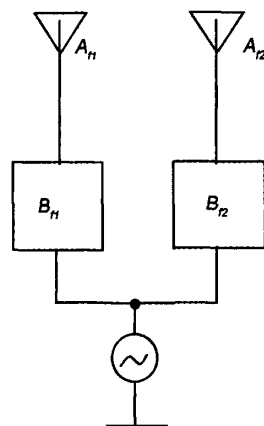


图1 组合双频带天线框图

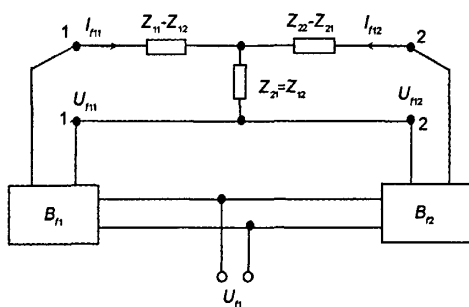


图2 组合双频带天线的等效电路

按耦合振子理论<sup>[11]</sup>,图1天线的等效电路为图2所示,设其工作于中心频率为 $f_1$ 的频带,在此状态下, $B_{n1}$ 对频率 $f_1$ 的信号衰减很小,它对辐射体 $A_{n1}$ 激励,在 $A_{n1}$ 场的作用下, $A_{n2}$ 产生感应电流并进行再辐射, $A_{n2}$ 产生的场一方面对 $A_{n1}$ 作用而改变了端口1-1的输入阻抗,另一方面其辐射场与 $A_{n1}$ 的辐射场在远区相互干涉,从而改变了 $A_{n1}$ 的辐射图形。

根据感应电动势理论<sup>[12]</sup>,双平行排列的半波对称振子的互阻抗 $Z_{12}$ 随两者之间距离 $d/\lambda$ 的变化而变化,当 $d/\lambda$ 在某些数值时,其互电阻或互电抗为零。若合适地选取 $d/\lambda$ ,可以实现 $|Z_{12}|$ 最小,即相互间的空间耦合最弱。

选择天线 $A_{n2}$ 为曲线振子或折线振子如图3所示,由于 $dl_{A22}$ 和 $dl_{A21}$ 与 $dl_{A1}$ 处于不同的相对位置,且距离 $d_2$ 与 $d_1$ 亦不相同,这就有可能使 $dl_{A1}$ 和 $dl_{A21}$ 与 $dl_{A1}$ 和 $dl_{A22}$ 之间的互阻抗性质相反,使两者的互耦影响削弱。为此,建立了组合天线模型如图

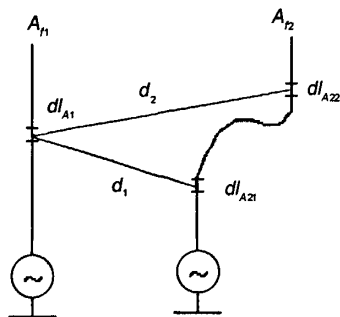


图 3 双振子去耦示意图

4 所示,其中直线振子长度为 84 mm、折线振子长度为 162 mm,接地板的尺寸为 100 mm×120 mm。图 5 是该组合天线的仿真曲线,其中情况 1 对应两天线距离为 42.5 mm、第一弯离接地板的距离为 40.3 mm,情况 2 与情况 1 比较,除两天线距离改变为 48.0 mm,其他结构参数不变。情况 3 与情况 2 比较,两天线距离不变仍然为 48.0 mm,其第一弯离接地板的距离变为 41.3 mm,也就是折线振子天线的弯曲点上移 1 mm 后的仿真曲线。由图 5 可见,此组合振子天线具有 4 个谐振点,通过调整两振子的间距和弯曲的位置可以改变谐振点的位置和深度,因此,可以实现多频天线。由于受整个天线几何安装尺寸的限制,采用曲线振子完全去耦是不现实的,因此,还采用了互耦补偿措施,即在设计  $B_{f2}$  的电路时,对频率  $f_1$  的信号不是完全阻断,而是允许少量功率通过,并在  $B_{f2}$  中加入延迟或短缩电路,以此来调节此信号对天线  $A_{f2}$  的馈入相位,同时它也改变了由于空间感应作用在  $A_{f2}$  上产生的分布电动势所产生的感应电流的相位。使天线  $A_{f2}$  成为天线  $A_{f1}$  的辐射透明体,同理通过合理设计  $B_{f1}$  使  $A_{f1}$  也成为  $A_{f2}$  的透明体,从而实现了多频带组合天线的设计。

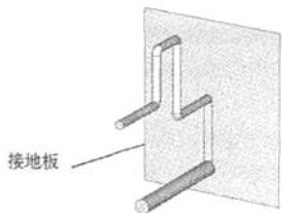


图 4 组合天线结构示意图

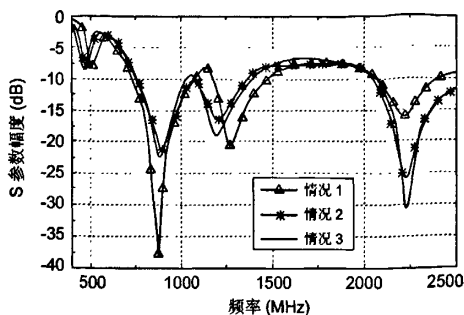


图 5 组合振子天线的回波损耗

### 3 天线设计与测试

根据上述思想,我们设计并完成了多频段车载天线。通过精心调整曲线振子形状和补偿电路,最终使处于这一组合中各频带的辐射体之间相互影响最小。

该天线使用单位提出的要求是:

- 1) 四个频段,即①457~469 MHz,②820~880 MHz,③885~935 MHz,④2400~2483.5 MHz;
- 2) 对于 50Ω 的电缆,电压驻波比在 1.5 左右;
- 3) 具有全方向性方向图;
- 4) 增益在 0 dB 以上;
- 5) 几何尺寸不大于 10(高)×12(长)×10(宽) cm<sup>3</sup>。

这一天线的设计难点是:(1)分散在较宽的频段中,其频程约 5.5 倍;(2)允许天线的安装空间小,例如天线的高度应在 10 cm 以下,在最低频率点上仅为  $\lambda_{\max}/8$ ,显然不能选用任一形式已知的宽频带天线,且底盘尺寸很小,各频段之间天线的耦合问题严重。

设计步骤是:首先将整个频段分成两组,其一是 820~940 MHz,中心频率为 880 MHz;另一则是中心频率为 463 MHz 的频段。在 880 MHz 频段,由于相对带宽较宽约为 14%,采用了常规的增大振子有效半径的办法,当这一天线设计并调试完成后,2400 MHz 频段是它的三倍频,因此该天线在 2400 MHz 频段的设计也就解决了。在 463 MHz 频段,按前述的方法选用了变形的多折线加载直立振子,此振子调试完成后,将两者(463 MHz 和 880 MHz)组合在一起,调整  $B_{f1}$  和  $B_{f2}$  电路,寻求变形振子的最佳状态并统一调整,封装后实物外形见图 6 所示。在微波暗室中用 E5071B 矢量网络分析仪测试了其

驻波比、方向图及增益,其驻波比曲线如图 7 所示,

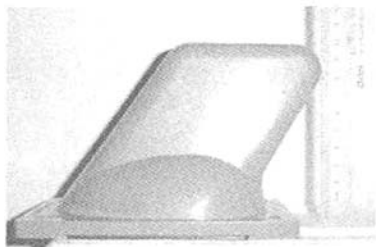


图 6 多频带天线实物图

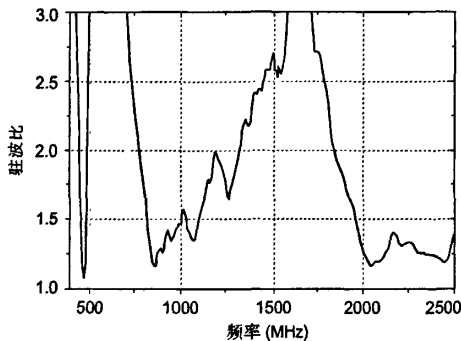
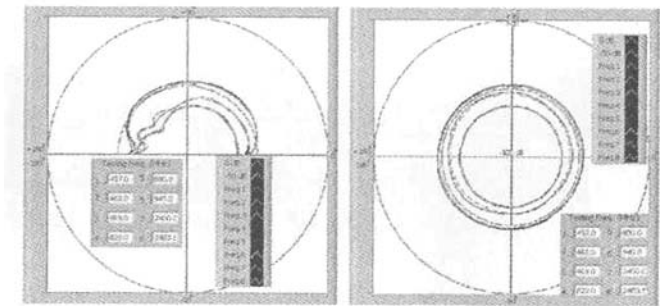


图 7 组合天线驻波比测试曲线

利用微波暗室测得方向图如图 8 所示。增益的测量采用比较法,450 MHz 增益测量采用半波接地天线,其标准增益为 1.8dBi,其他频段采用标准喇叭天线,其测试结果如表 1 所示。由测试结果可见:本文所设计的天线完全满足用户提出的技术要求。

表 1 驻波比、增益测试数据

频率 (MHz)	驻波比 (VSWR)	增益 (dBi)
457	1.2534	2.6530
462	1.1703	2.3440
469	1.0881	2.5980
821	1.4436	0.4410
880	1.2604	1.3660
934	1.3943	1.0090
2400	1.2236	6.1690
2440	1.1838	5.7690
2483.5	1.3363	6.0645



(a)E 平面 (b)H 平面

图 8 组合天线方向图

4 结论

将宽频带天线中有效辐射体的概念引入到组合式多频带天线设计中,并提出了辐射透明体的概念,再通过合理的设计将不同频带工作的天线有机组合而构成结构紧凑的多频带天线,从而突破了组合式多频段天线小型化设计的瓶颈。

根据本文的设计新思想,制作完成了一款实用可行的多频段移动通信天线。测试结果表明,由于去耦措施选择恰当,各频段的测试结果均满足设计指标要求,为该类天线的设计提供了新的思想。

在该天线的设计测试过程中,得到了苏州光电缆工艺研究所的周荣生总工程师和该所的其他同志的大力支持,同时得到了苏州大学一禾邦辐射测试中心相关同志在测试方面的帮助,在此表示衷心的感谢。本项目得到了江苏省高校“青蓝工程”基金支持。

参考文献

[1] P Nepa, G Manara, A A Serra, *et al.*. Numerical and experimental investigation of a multi-band PIFA for laptops[J]. Microwave and Optical technology letters,

- 2005, 46(5):454-458.
- [2] Jihak Jung, Yeonsik Yu, Jaehoon Choi. A small wide-band planar monopole antenna for mobile wireless devices[J]. Microwave and Optical technology letters, 2006, 48(4):736-740.
- [3] Byung-kil Yu, Byungwoon Jung, Ho-Jun Lee, *et al.*. A folded and bent internal loop antenna for GSM/DCS/PCS operation of mobile handset applications[J]. Microwave and Optical technology letters, 2006, 48(3):463-467.
- [4] Chi-Hun Lee, Dong-Hyuk Choi, Seong-Ook, Park. A novel compact and wideband shorted patch antenna [J]. Microwave and Optical technology letters, 2005, 46(1):4-6.
- [5] Jin-Sen Chen. Multi-frequency characteristics of annular-ring slot antennas [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2003, 38(6):506-511.
- [6] Soon-Ho Hwang, Won-Il Kwak, Jung-Ick Moon, *et al.*. An internal dual-band printed antenna for CD-MA/PCS handsets[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2005, 45(6):537-540.
- [7] Saou-wen Su and Kin-Lu Wong. Broadband omni-directional U-shaped metal-plate monopole antenna[J]. Microwave and Optical technology letters, 2005, 44(4):365-369.
- [8] Kin-Lu Wong, Ting-Chih Tseng, and Pey-Ling Teng. Low-profile ultra-wideband antenna for mobile phone applications[J]. Microwave and Optical technology letters, 2004, 34(1):7-9.
- [9] Horng-Dean Chen, Jin-Sen Chen, Jui-Ni Li. Ultra-wideband square-slot antenna [J]. Microwave and Optical technology letters, 2006, 48(3):500-502.
- [10] 刘英, 龚书喜, 傅德民. 分形天线的研究进展[J]. 电波科学学报, 2002, 17(1):54-58.  
Liu Y, Gong S X, Fu D M. The advances in development of fractal antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2002, 17(1):54-58.
- [11] 刘学观, 郭辉萍. 微波技术与天线(第二版)[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2006.
- [12] 周朝栋, 王元坤, 周良明. 天线理论与工程[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1988.

**郭辉萍** (1964—), 女, 山东人, 苏州大学电子信息学院副教授, 主要从事微波通信、电磁理论、天线技术教学、科研工作。



**蔡文锋** (1978—), 男, 山东人, 苏州大学电子信息学院讲师, 中国航天科工集团第二研究院在读博士, 主要从事电磁理论、天线等教学、科研工作。



E-mail: caiwenfeng@suda.edu.cn

**刘学观** (1965—), 男, 江苏人, 苏州大学电子信息学院教授, 博士, 主要从事电磁目标特性、射频工程等教学、科研工作。



E-mail: txdzlxx@suda.edu.cn

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、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](http://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>