



*Dept. of Electronics & Communication  
Engineering*

**Harbin Institute of Technology**

**Harbin 150001, P.R. China**

E-mail: [qw@hit.edu.cn](mailto:qw@hit.edu.cn)

Tel. +86 451 6413502

---

# 移动通信终端天线设计 (1)

**吴群**

教授，工学博士

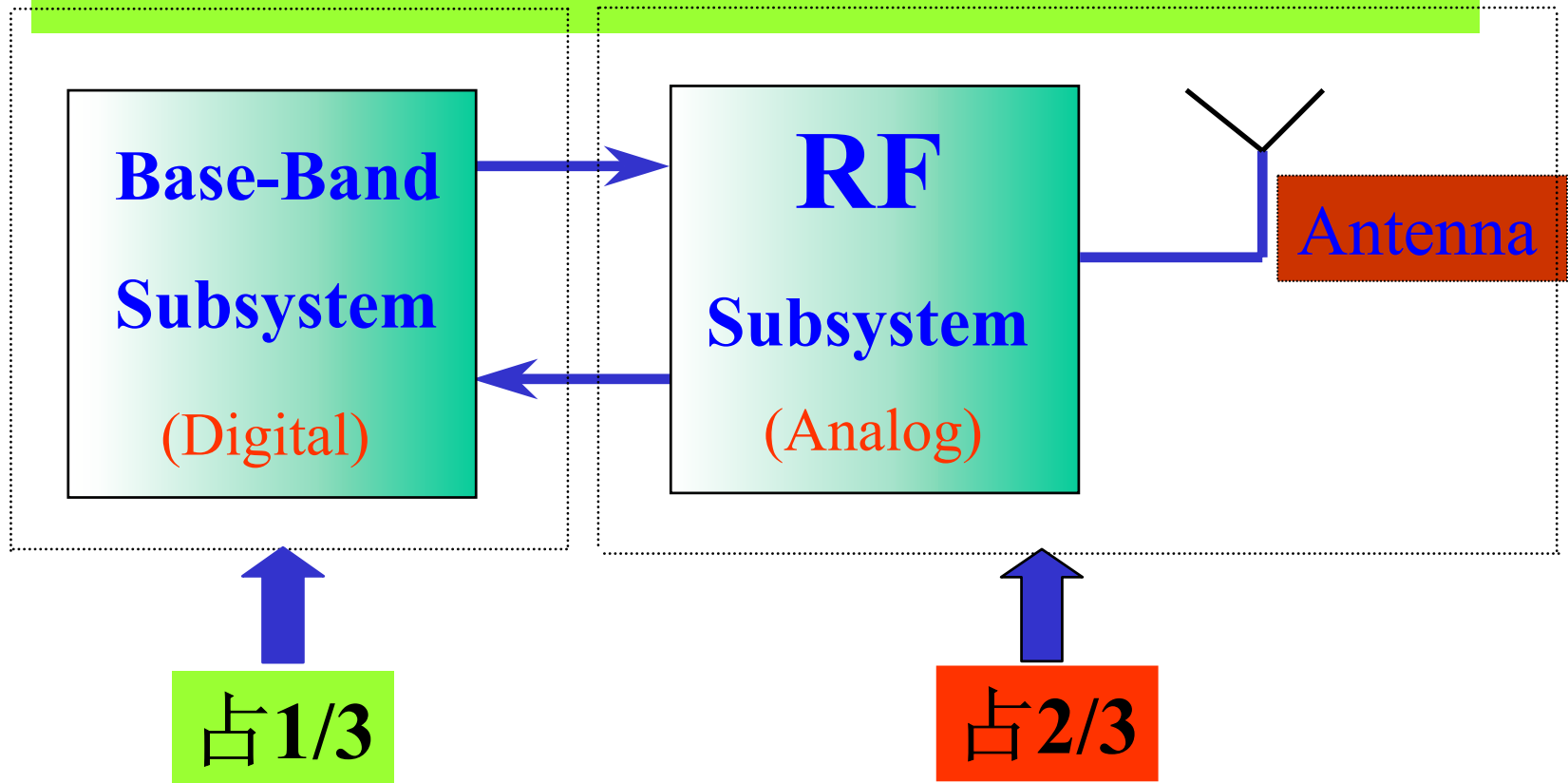


# 移动通信终端

- 移动通信终端设备包括:
- 蓝牙 (Bluetooth)
  - PC
  - PDA
  - PC 卡
  - 移动电话
- 无线 LAN 卡(IEEE802.11b)
- 无绳电话
- RFID卡



# 手机电路组成





# 目 录

- 无线移动通信天线
- 手机天线设计考虑
- 手机天线类型
- 外装式手机天线
- 内置式手机天线
- **GMS** 手机天线设计
- 近场3-D测试天线暗室与设备
- 天线性能测试
- 未来手机天线发展趋势
- 其他和天线有关的文献资料



# 无线移动通信终端天线



# 无线移动通信天线

- 便携式无线通信设备:

无绳电话手持机、  
传呼机、  
无线MODEM、  
笔记本电脑用PCMCIA传呼机卡  
手机

- 基本特点:

这些天线都是位于人体附近  
安装在设备内（插入笔记本电脑内）  
使用者手持操作  
使用位置不固定



# 无线移动通信天线

- 便携式无线通信设备对天线要求:

体积小、重量轻、具有两个正交极化特性、所有主面的辐射方向图应是准全向的

- 便携式无线通信设备天线应用要求:

带宽要尽可能宽、人体（手）对天线的影响要尽可能小、人体对天线的电磁能量的比吸收率(SAR)应尽可能小。

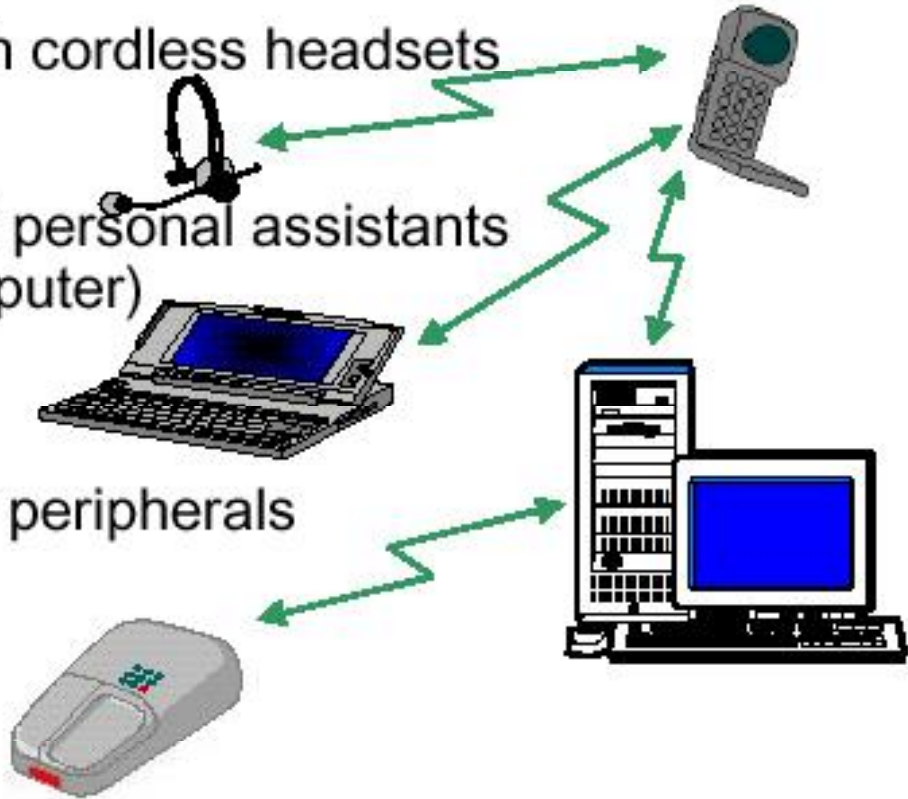
希望能将天线集成到便携通信设备的印制电路板或塑料外壳上。



## BlueStack- A Re-configurable Bluetooth Stack

A re-configurable stack is needed to cover all apps eg:

- Mobile phones with cordless headsets
- Synchronisation of personal assistants (phone/ PDA/ computer)
- cordless computer peripherals





# 手机天线设计考虑

- 移动环境中天线性能的计算
  - 天线性能的计算
  - 天线的平均有效增益计算
- 天线设计中的人体辐射安全考虑

模拟机7W

数字机2W

## 天线结构与形式

外置式： $\frac{1}{4}$ 波长鞭状、 $\frac{1}{4}$ 波长伸缩式（振子螺旋天线 组合）、螺旋

内藏式：微带缝隙、微带贴片、介质、背腔式、铁氧体式。



# 手机天线设计考虑



# 手机天线设计考虑

- 克服人体对电波吸收和散射引起接收特性的改变;
- 多信道传播以辐射指向性造成增益下降。
- 天线要与RF模块连接，要解决阻抗匹配



# 手机天线设计考虑

- 手机天线不同于一般固定通信天线，安装于小型机壳内，贴近人体，边移动，边使用。
- 需解决的关键技术问题
  - 克服人体对电波吸收和散射所引起接收特性的改变
  - 多信道传播以辐射指向性造成增益下降等问题。
- 对于某些手机天线，采用分集天线。它由两部分构成，外部天线为伸缩的鞭状天线，收藏在机体内，收发兼用；内藏天线为平面天线，用作接收专用天线。利用这两种天线，在接收时可供选择分集。
- 为了满足超小型化手机的需要，最近将内藏天线研制成平板状的反向F天线以及用微带贴片做成的小型天线，除体积进一步缩小外，并具有高增益和大宽带等优点，它是制在介质基板或PCB上，通过合理形状设计，求得特性最佳化。



# 手机天线主要技术指标

- 频率
- 增益
- 阻抗
- 驻波比
- 吸收率



# 手机天线技术指标

| 适用网络↕ | GSM↕      | TDMA-900CDMA↕ | 日本↕       |
|-------|-----------|---------------|-----------|
| 频率范围↕ | 890-960↕  | 800-960/1800↕ | 800/1500↕ |
| 频带宽度↕ | 60/80↕    | 60/80↕        | 70-90↕    |
| 增益↕   | 2.15/1.0↕ | 3.5/2.15↕     | 2.15/3↕   |
| 驻波比↕  | <1.5↕     | <1.5↕         | <1.5↕     |
| 输入阻抗↕ | 50↕       | 50↕           | 50↕       |



哈爾濱工業大學

# 外置式手机天线



# 外置式天线特点

外置式天线(多为伸缩式)如单极天线和螺旋天线在手机上广泛应用

- **外装式天线缺点:**

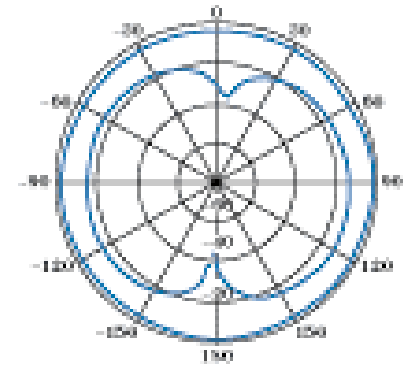
- 不能集成到印制电路板或设备外壳上, 增加总尺寸(尤其是伸缩式);
- 易于折断和弯曲;
- 天线比吸收率 (SAR值) 高, 不易屏蔽, 人体对天线的性能影响较大;
- 仅有一种极化特性, 在人体附近场性能较差;
- 螺旋天线加工不易达到精确控制和重复性, 需要匹配电路, 使成本和损耗都增加;
- 可伸缩的外装式天线还存在天线可伸缩次数的物理极限;
- 伸缩天线在处于某一中间位置时, 天线在电气上并未与电话机相连;
- 伸缩天线外装式天线通常要求一个内装分集天线来解决衰减问题;
- 外装式天线通过隔离接收与发射频段来取消双工器。

结论: 设计一个高效率、性能完善的双频天线不容易

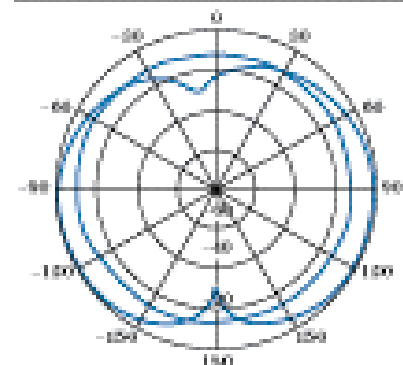


# 外置式手机线天线的评价

- 右图是垂直放置的手机螺旋天线在自由空间的水平和垂直极化面上的辐射方向图
- 可以看出，两组极化面的辐射图不同
- 在水平面，垂直极化波效率近似为70%，而水平极化波低于5%
- 在垂直面，水平极化图更差，而垂直极化图出现两个零点



(a)



(b)



# 外置式线天线的评价

- 移动通信基站发射天线都是采用垂直极化，当手机垂直放于自由空间中时可从其水平面上得到最高的接收灵敏度，于是可用来评价手机天线的性能。
- 通常外装式手机辐射方向图也通过同时测量有无人体和大脑影响的效应。考虑到人体效应，天线的效率约为10%，也就是说，当手机天线靠近人体使用时的整个效率会大大降低。



# 外置式线天线的评价

- 能量的损耗主要是由于人脑和手对电磁波的吸收，以及天线在人体附近所引起的失配。
- 但要精确测量这两个因素所造成的功率损耗比很困难。
- 通常是采用测量天线在自由空间的回波损耗和在人体旁回波损耗的比值。
- 天线在人体旁失配所引起的功率损耗确定为总功率损耗的20%。
- 在人体附近有近80%总功率损耗是被人手和大脑所吸收掉。



# 外置式线天线的评价

- 尽管如此，所测得的自由空间方向图和由人体吸收之后的方向图有很大差异：

随着人的不同，人体和人体之间也不同，他们对天线的效应也不同。

使用者手握电话方式和靠近耳朵的方式也不同，因此缺乏测量的重复性。

**结论：**应在使用者使用中或使用人体模型来模拟人脑和手来取代人才能正确评价天线性能

注：目前实际上对于大多数天线公司都不给出人体模型的测试结果，而是利用**测量自由空间**的水平面上垂直极化波灵敏度来模糊表示



哈爾濱工業大學

# 内置式手机天线



# 内置集成微带天线的特点

- 内置微带天线可集成到印制电路板和外壳上，在手机内部，不额外增加设备尺寸；
- 内置微带天线有机械刚性，不易被损坏；
- 采用屏蔽技术来屏蔽天线，SAR值非常小；
- 天线受人体的影响相对要小；
- 微带天线的输入阻抗容易做到 $50\ \Omega$ ，不需要匹配电路或非平衡转换器，容易实现批量生产，重复性好；
- 微带天线通过耦合方式馈电，在隔离接收与发射频段方面也相当简便，可以消除双工器；
- 若采用E场和H场元件分集技术，则不必附加独立的分集天线；
- 设计参数通过最优化手段实现体积小、成本低，并能增加带宽，同时提高对垂直和水平极化波的接收灵敏度，实现更好的全向辐射特性；
- 容易设计出双频段的内置集成微带天线。

结论：减小人体和天线相互作用影响，微带天线是内置天线应用的最佳选择。



# 内置集成微带天线的设计参数

- 最明显的技术是将传统的半波长微带天线尺寸减少50%，即将零位等效面短路。采用局部短路微带天线可大大减小已缩短的 $1/4$ 波长天线的尺寸。在这种情况下，仅对零等效面一部分短路，而不是全部主面短路。
- 最重的参数之一是微带天线的接地面尺寸。缩短接地面尺寸可减小天线尺寸，改善天线的全向辐射特性，也可降低天线邻近人体效应。但是，缩短常规微带天线几何边缘接地面会降低天线的效率，需采用其他电路结构，如双C型贴片微带天线。
- 增加厚度或采用平面 / 非平面层状无源器件可改善微带天线带宽，但会使天线尺寸增大。驱动单元和天线无源单元的长和宽通常在一个半波长到 $1/4$ 波长范围内。

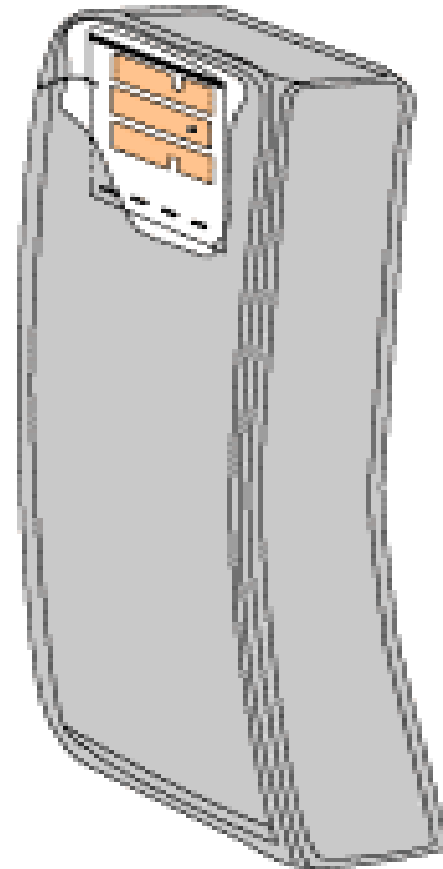
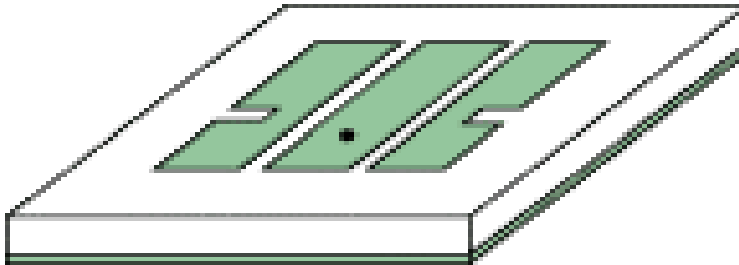


# 内置集成微带天线的设计实例

- 内装的小型宽带微带天线结构是将窄小的驱动单元与几何形状不同的平面层状无源器件相结合。通过对这种天线的几何结构的配置和组合进行设计和最优化，可将其装置手机内部，如图所示。
- 这种天线的电介质常数为6，内置天线尺寸  $15 \times 15 \times 1.5(\text{mm})$ ，驱动单元为带三角形孔径的C型贴片，无源单元是带矩形孔径的C型贴片



# 蜂窝移动电话内置小型微带天线

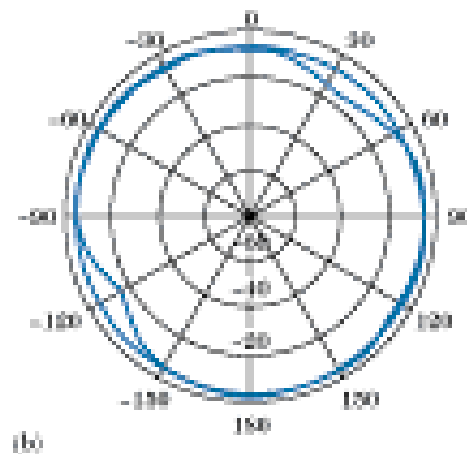
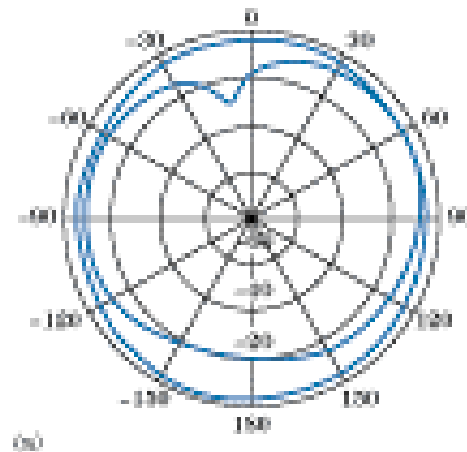




# 内置集成微带天线测试结果

—— 天线在主面的垂直和水平极化方向图

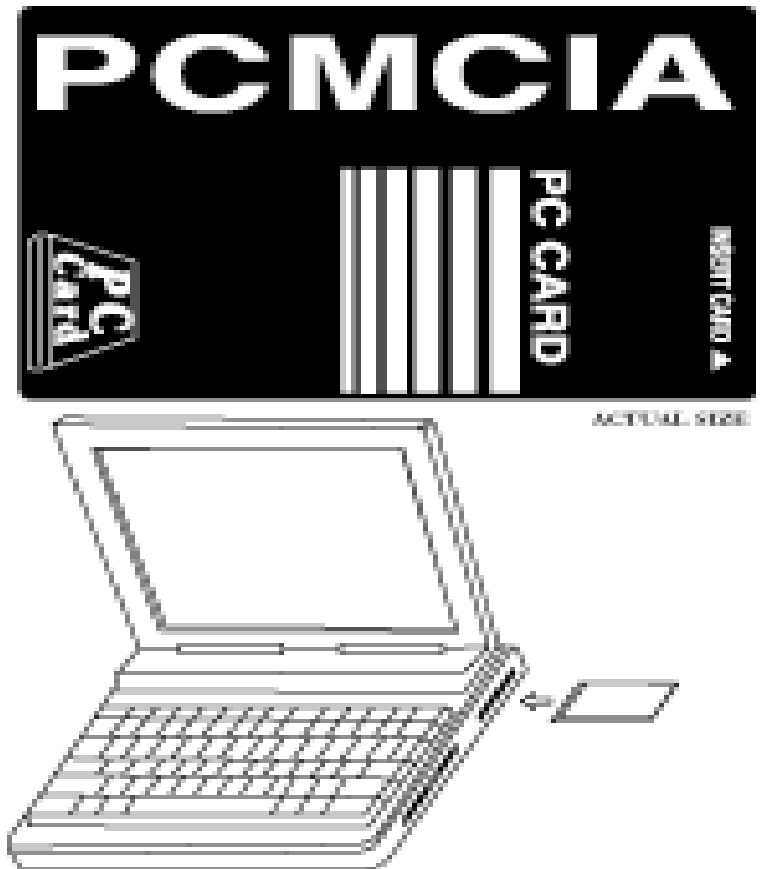
- 方向图是准全向的，天线对垂直和水平极化波的灵敏度均高。
- 通过外场实验、微波暗室测量以及邻近人体和自由空间测量，证明了这种天线与人体之间的相互影响很小，优越于外装式天线。





# PCMCIA卡式天线

- 该类型微带天线还被用来集成PCMCIA卡、无线MODEM和LAN。
- PCMCIA卡尺寸形同信用卡，15•15•1 mm





哈爾濱工業大學

# GMS 手机天线设计



# GMS 手机天线设计

- 系统设计，而不是孤立的接收 / 发射终端，即根据电波传播条件设计，具有一定的极化控制方向图分集控制能力。
- 方向图要与区域要求一致，并允许天线附近有障碍物存在。
- 要考虑人手和身体的影响，以及可能存在的干扰。
- 机械性能可靠，尽可能减少可动部件和开关部件。
- 采用新技术，开发新材料。



# GMS 手机天线设计

- 系统设计，而不是孤立的接收 / 发射终端，即根据电波传播条件设计，具有一定的极化控制方向图分集控制能力。
- 方向图要与区域要求一致，并允许天线附近有障碍物存在。
- 要考虑人手和身体的影响，以及可能存在的干扰。
- 机械性能可靠，尽可能减少可动部件和开关部件。
- 采用新技术，开发新材料。



哈爾濱工業大學

# GSM双频外置螺旋天线设计

—1999年6月完成

## 技术要求

工作频段：

- 1. GSM900波段：890~960MHz
- 2. DCS1800波段：1710~1890MHz
- 外形尺寸：
- 长25mm，外径6mm；
- 电性能指标：
- ① 增益 8dB ；
- ② 驻波比小于1.5。
-



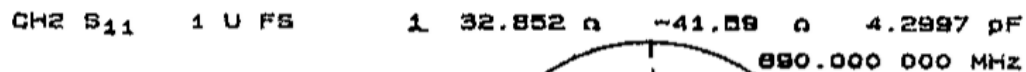
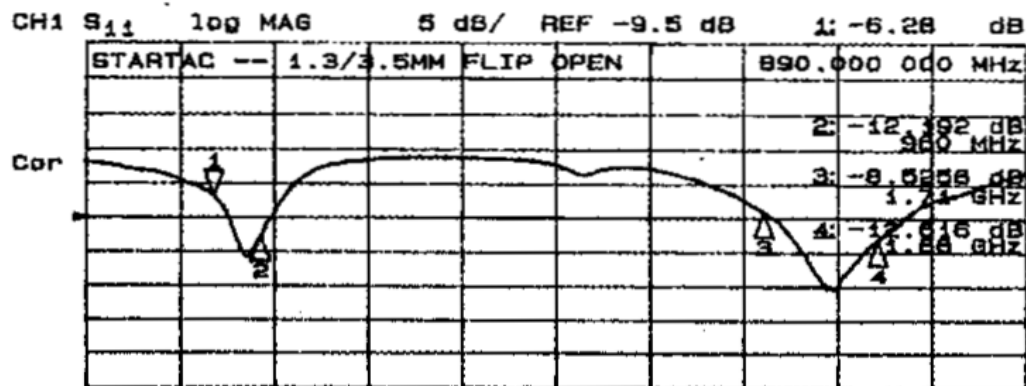
# GSM双频外置螺旋天线设计考虑

- 整个天线的辐射元件由两部分组成
  - 一是两种螺距曲线圈
  - 二是连接器。
- 由于结构限定，连接器的长度为12.5 mm。
- 设计中要考虑连接器
- 注意输入阻抗的匹配
- 传统的双频天线（在开发此天线当时）是：  
（GSM频段辐射元件为1/4波长螺旋线，而DCS频段辐射元件为1/4波长鞭状天线，两者组装在同一连接器上）

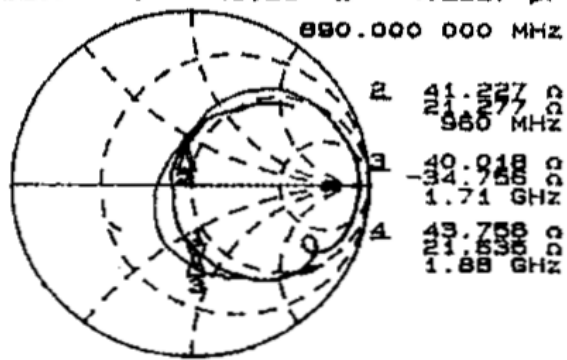


# 测试结果

-----使用状态中回波损耗、阻抗特性和VSWR



Cor  
Del



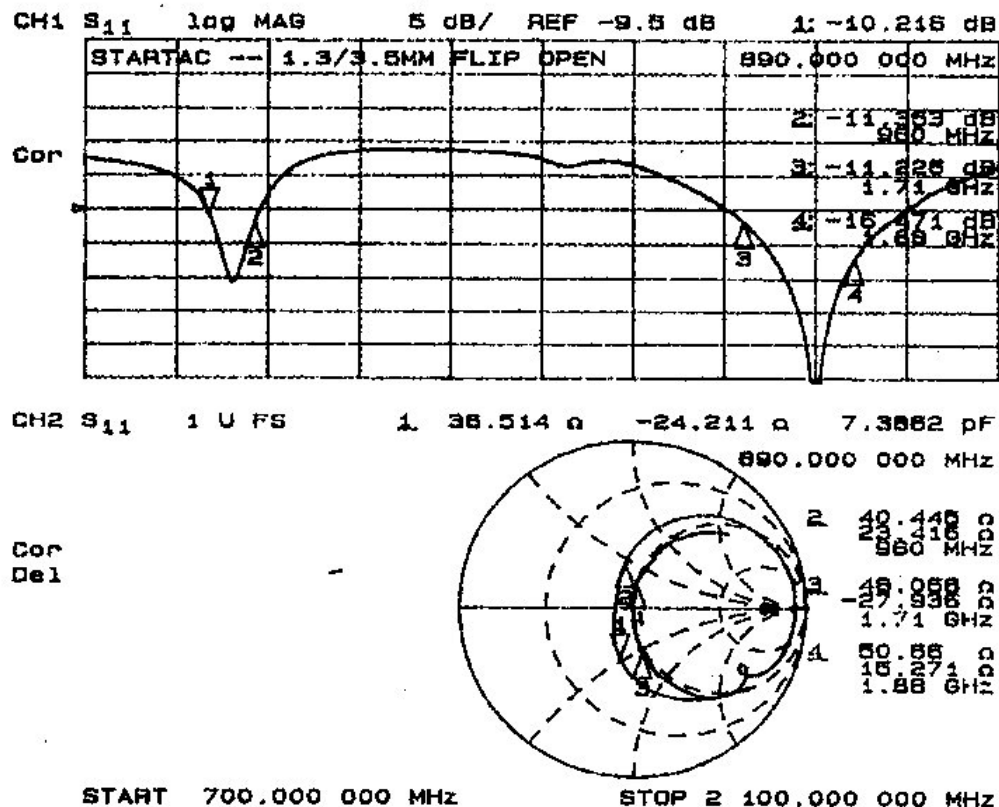
START 700.000 000 MHz

STOP 2 100.000 000 MHz



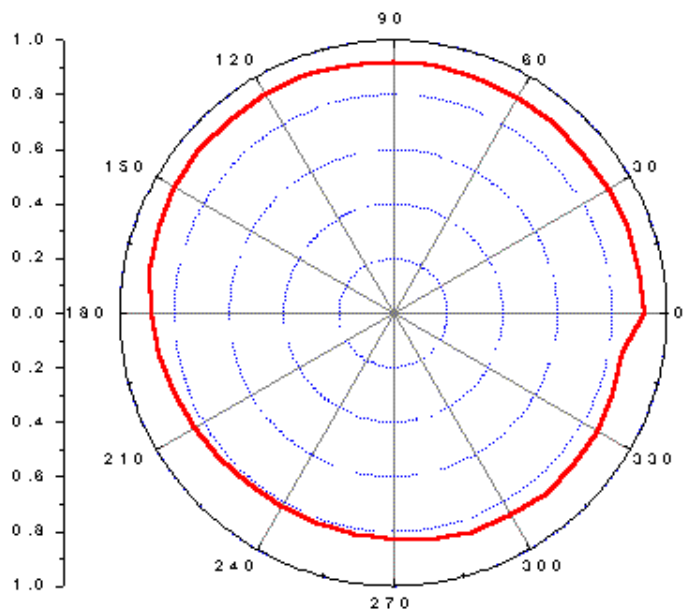
# 测试结果

----自由空间状态回波损耗、阻抗特性和VSWR

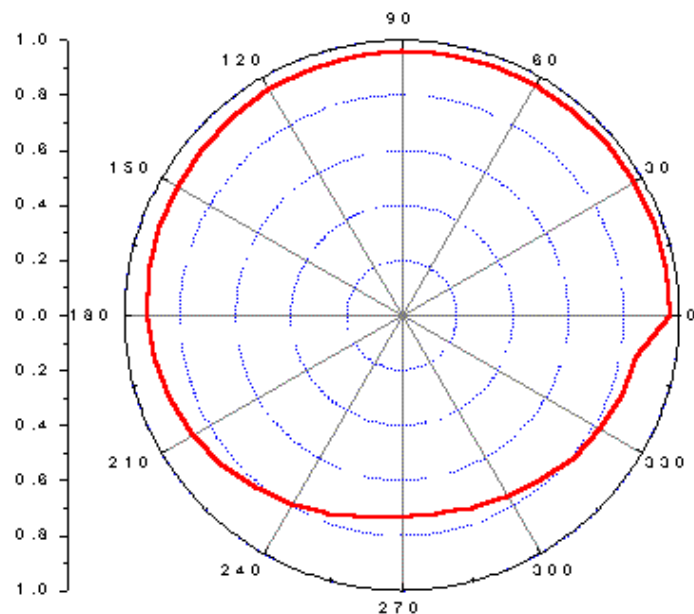




# 螺旋天线的归一化方向图



(a) 900MHZ频段



(b) 1800MHZ频段



哈爾濱工業大學

# GSM双频外置螺旋天线设计

—1999年6月完成

## 技术要求

工作频段：

- 1. GSM900波段：890~960MHz
- 2. DCS1800波段：1710~1890MHz
- 外形尺寸：
- 长25mm，外径6mm；
- 电性能指标：
- ① 增益 8dB ；
- ② 驻波比小于1.5。
-



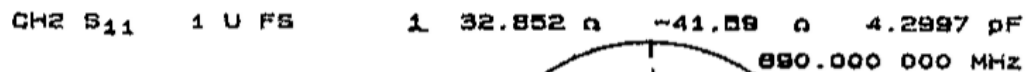
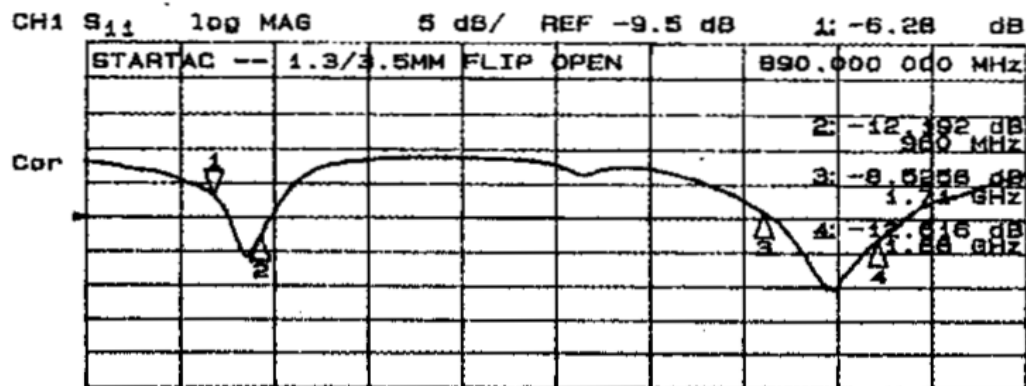
# GSM双频外置螺旋天线设计考虑

- 整个天线的辐射元件由两部分组成
  - 一是两种螺距曲线圈
  - 二是连接器。
- 由于结构限定，连接器的长度为12.5 mm。
- 设计中要考虑连接器
- 注意输入阻抗的匹配
- 传统的双频天线（在开发此天线当时）是：  
（GSM频段辐射元件为1/4波长螺旋线，而DCS频段辐射元件为1/4波长鞭状天线，两者组装在同一连接器上）

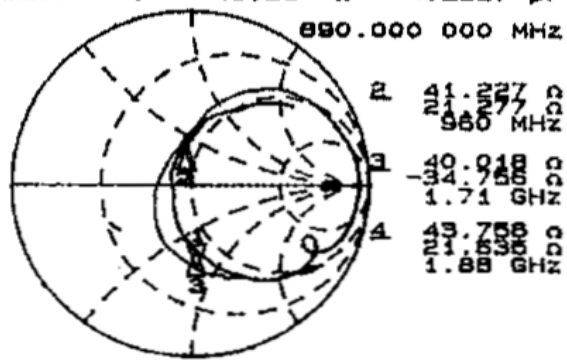


# 测试结果

-----使用状态中回波损耗、阻抗特性和VSWR



Cor  
Del



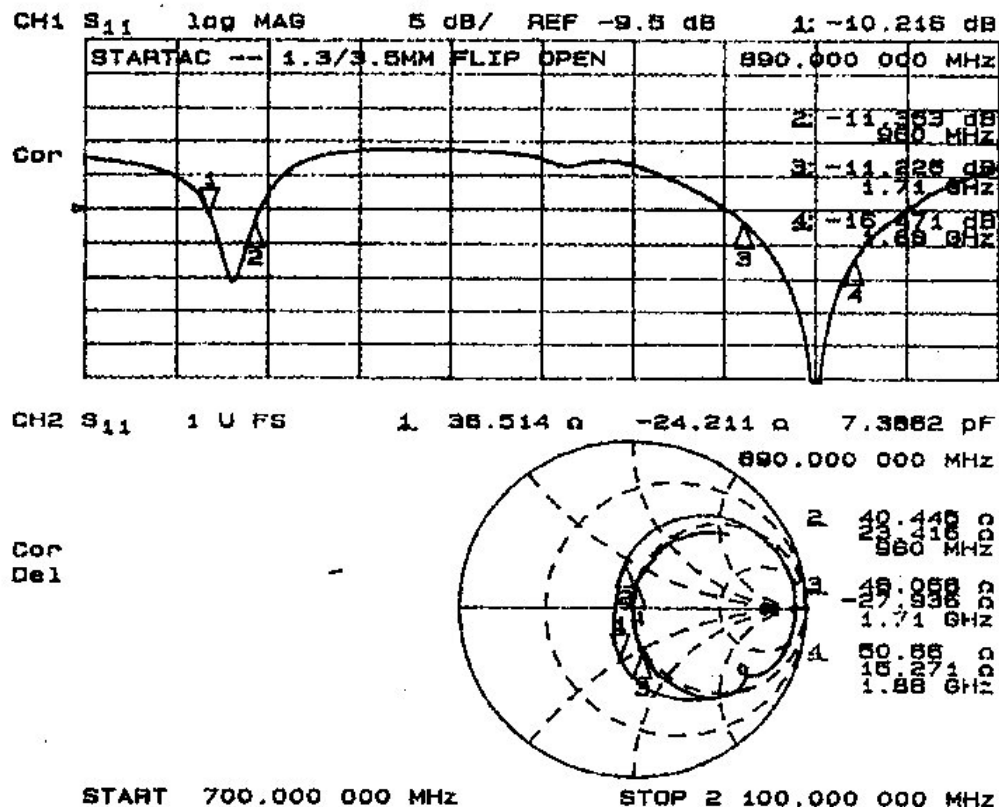
START 700.000 000 MHz

STOP 2 100.000 000 MHz



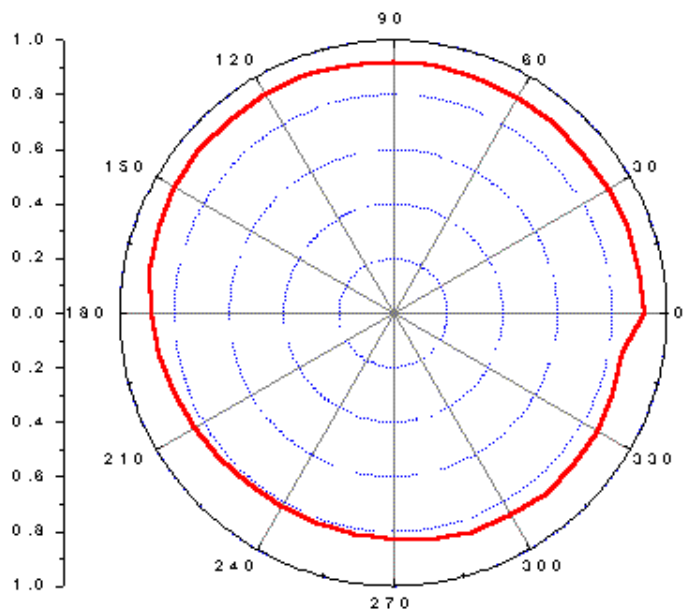
# 测试结果

----自由空间状态回波损耗、阻抗特性和VSWR

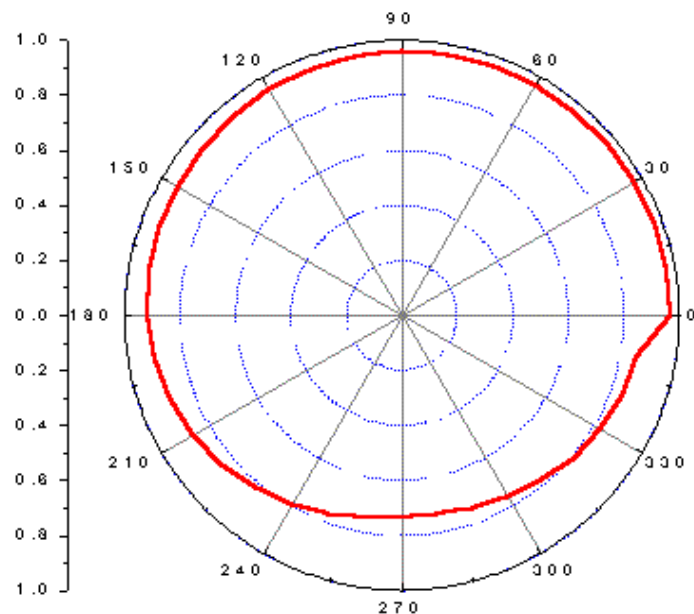




# 螺旋天线的归一化方向图



(a) 900MHZ频段



(b) 1800MHZ频段



# 结论

- 在自由空间状态下，两个频带的回波损耗都优于-10dB
- 在使用状态下，两个频带的回波损耗都优小于-10dB  
（说明人手和头部感应影响了天线的增益和谐振点）
- 在使用状态下，天线的谐振频率在两个频段内均有降低。
- 从天线阻抗特性看，在两个发射频段呈容性而在接收频段呈感性。两个频带的谐振点阻抗都接近50欧姆。  
故射频接收回路可不设置匹配电路，简化了射频发射回路和PCB面积。

## 射频和天线设计培训课程推荐

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## 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,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.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>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,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>