

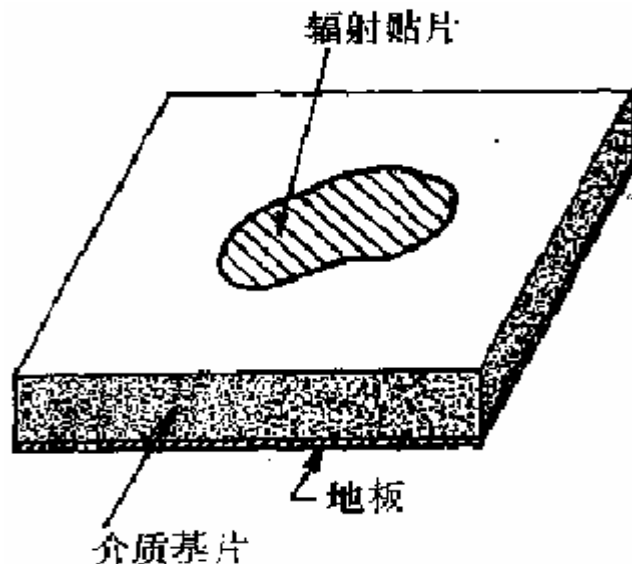
第四讲 微带天线

一、 引言

上一讲介绍了对称振子和接地单极子天线。这两种天线本质上属于线天线。但是手机内置天线往往都不是线天线的形式，常见的 PIFA 天线和单极子变形天线往往都是平面天线的形式。尽管在某种程度上它们也和对称振子或接地单极子天线有某种程度的相似性。在现有理论基础下，由于专门对手机天线进行严格理论分析的论著还很少，所以为更加深入地理解手机天线，我们还有必要了解几种其他类型的天线的一般特性。这一讲主要介绍微带天线的概念和基本原理。

二、 微带天线的结构

如下图所示，结构最简单的微带天线是由贴在带有金属地板的介质基片（ $\epsilon_r \leq 10$ ）上的辐射贴片所构成的。贴片上导体通常是铜和金，它可以为任意形状。但通常为便于分析和便于预测其性能都用较为简单的几何形状。为增强辐射的边缘场，通常要求基片的介电常数较低。



三、 微带天线的特点

微带天线的典型优点是：

1. 重量轻、体积小、剖面薄；
2. 制造成本低，适于大量生产；
3. 通过改变馈点的位置就可以获得线极化和圆极化；
4. 易于实现双频工作。

但微带天线也有如下缺点：

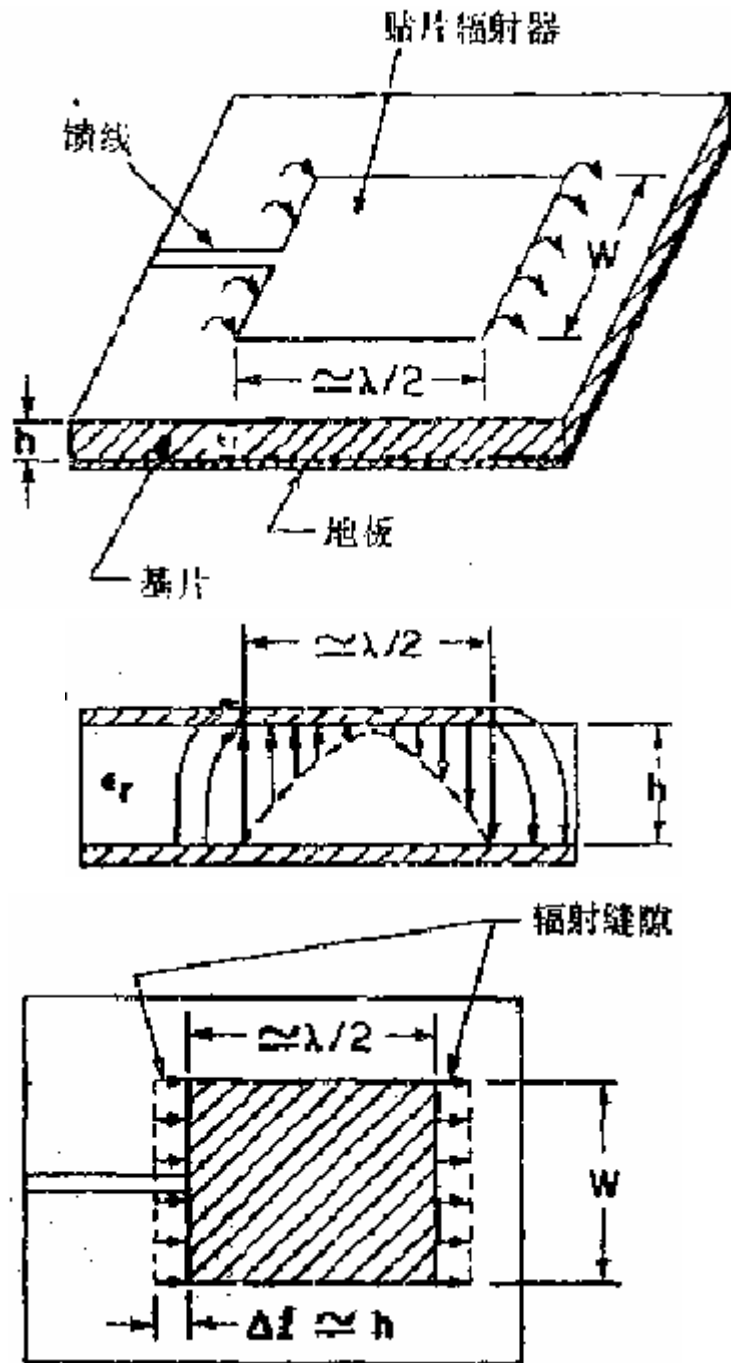
1. 工作频带窄；
2. 损耗大，增益低；
3. 大多微带天线只在半空间辐射；
4. 端射性能差；
5. 功率容量低。

四、 微带天线的辐射机理

微带天线的辐射是由微带天线导体边沿和地板之间的边缘场产生的。这可以从以下图中的情况简单说明，这个图是一个侧向馈电的矩形微带贴片，与地板相距高度为 h 。假设电场沿微带结构的宽度和厚度方向没有变化，则辐射器的电场仅仅沿约为半波长 ($\lambda/2$) 的贴片长度方向变化。辐射基本上是由贴片开路边沿的边缘场引起的。在两端的场相对地板可以分解为法向和切向分量，因为贴片长度为 $\lambda/2$ ，所以法向分量反相，由它们产生的远区场在正面方向上互相抵消。平行于地板的切向分量同相，因此合成场增强，从而使垂直于地板的切向分量同相，因此合成场增强，从而使垂直于结构表面的方向上辐射场最强。

根据以上分析，贴片可以等效为两个相距 $\lambda/2$ 、同相激励并向地板上半空间辐射的两个缝隙。对微带贴片沿宽度方向的电场变化也可以采用同样的方法等效为同样的缝隙。这样，微带贴片天线的辐射就等效为微带天线周围的四个缝隙的辐射。

这种分析方法不仅适用于微带矩形贴片天线，同样也适于其他形状微带天线。



五、 微带天线分析方法

各种天线在进行工程设计，都需要估算天线的性能参数（方向图、方向系数、效率、输入阻抗、极化和频带等），这样才能提高天线研制工作的质量和效率，降低研制成本。许多人致力于微带天线的理论研究，并产生了多种分析方法，如传输线法、腔模理论法、格林函数法、积分方程法和矩量法。这些分析方法各有长短，但都可以得到近似的定性结论，这些结论对判断天线的特性是很有帮助的。

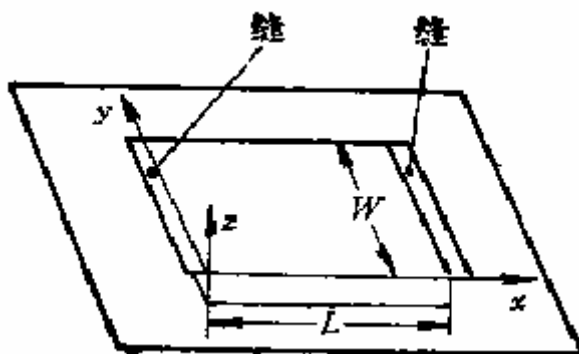
常用微带天线大多是窄带器件，其窄带性质主要表现在输入阻抗对频率敏感的

特性上，因此确定微带天线的谐振频率和阻抗特性十分关键，这也是评价不同分析方法优劣的一个重要依据。除这种特殊情况以外，各种分析方法计算微带天线的方向图时结果基本是一致的，特别是主波束。

六、 微带贴片的传输线分析法

传输线分析法是微带天线最早期的分析方法，也是最简单的方法。这种方法基于如下基本假设：

1. 微带片和接地板构成一段微带传输线，传输准 TEM 波，传输方向决定于馈点，线段长度 $L \approx \lambda_m/2$ ， λ_m 是准 TEM 波的波长。场在传输方向呈驻波分布，而在其垂直方向（宽度方向）是常数。
2. 传输线的两个开口端（始端和末端）等效为两个辐射缝，长为 W ，宽为 h ，缝口径场即为传输线开口端的场强。缝平面可以看作是位于微带片两端的延伸面上，即将开口面向上弯折 90 度，而开口场强随之折转。



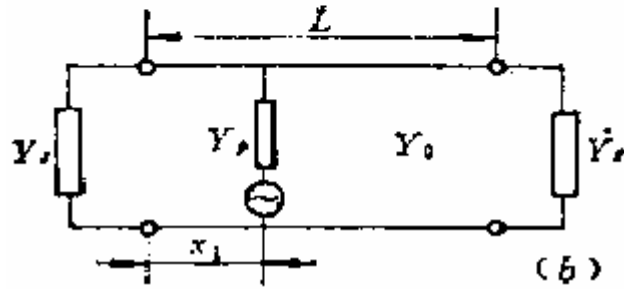
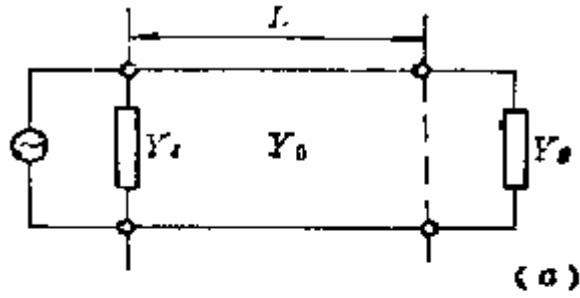
$$L = \frac{\lambda_m}{2}$$

根据上面的两点假设，当 $L = \frac{\lambda_m}{2}$ 时，两缝上的切向电场都是 \hat{x} 方向，并且等幅同相。它们等效为磁流，由于接地板的作用，相当于有双倍磁流向上半空间辐射，缝上的等效磁流密度为：

$$M = \hat{y}2V/h$$

V 是传输线开口端的电压。

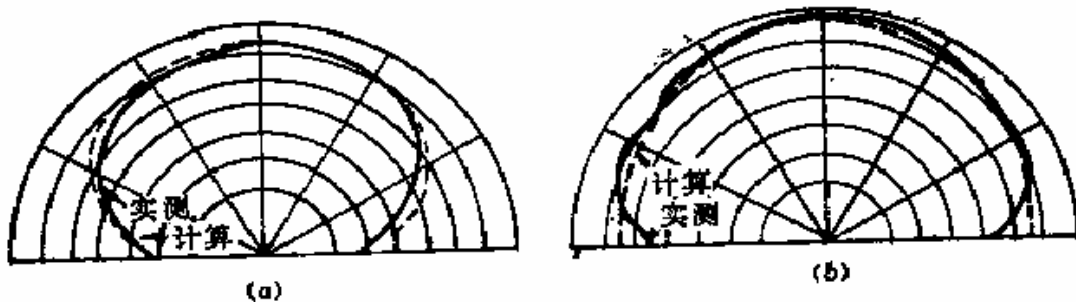
由于缝已经放平，在计算上半空间的辐射场时，就可以按照自由空间处理。微带线和同轴线馈电的微带贴片天线等效电路如下图所示。



在上面的等效电路中，(a) 是带线馈电方式，其中 Y_r 是缝隙辐射导纳， Y_0 是微带片的特性导纳。(b) 是同轴线的馈电方式，探针从接地板穿孔引出，称为底部馈电。两种等效电路的不同之处在于，同轴馈电的馈点在微带片的开口端之间馈电，激励源与开始端有一段距离 x_1 ，探针本身会引入感抗 Y_p 。

七、微带贴片天线的辐射方向图

从上面的微带天线传输线等效电路可以方便地导出天线的辐射场函数，并可以画出方向图。在这个方向图中，在 $\varphi = 0$ 方向上，只有 E_θ 分量，所以本平面称为 E 面，这是包含准 TEM 波传播方向和 z 轴的平面；而 $\varphi = 90^\circ$ 平面上， $E_\theta = 0$ ，只有 E_ϕ 分量，所以是 H 面，这是与波传播方向垂直的平面。



八、微带天线的工作频率和输入阻抗

根据传输线等效电路也可以计算微带天线的谐振频率和输入阻抗，但计算方法相当复杂，需要求解复杂的超越方程，结果也不够精确。在手机天线中，为获得工作频率和输入阻抗通常采用矢量网络分析仪通过实验测试确定。

[提示] 天线技术是一种实践性很强的技术，又是一种理论和实践密切配合的技术。有时数学工具可以帮助进行精确的分析和定性判断，但数学工具也不是万能的，必须重视实践。爱迪生曾让一位数学家计算灯泡的容积，数学家三天也没算出来结果。当爱迪生将灯泡灌满水让数学家去量一下水量时，数学家恍然大悟。微带天线的输入阻抗值的确定就是这样的一个典型例子，与其解一大堆方程，不如用一下网络分析仪。

九、微带贴片天线中的若干经验公式

在若干数学物理学家对微带天线进行研究的同时，另外也有不少实干家通过实验寻找相关的经验公式，这些经验公式对实际设计同样有重要的指导意义。下面就介绍一些微带天线中重要实验定理和经验公式。

1. 列文实验定理：影响微带天线辐射场的因素包括微带谐振器的尺寸、工作频率、相对介电常数和基片的厚度；高频时辐射损耗远远大于导体和介质的损耗；使用厚度大而介电常数低的基片时，开路微带线的辐射更强。
2. 频带的决定因素：微带天线的带宽窄，主要是由两个辐射缝之间的传输线特性阻抗低（1—10 欧）所致。厚度的增大可以使传输线特性阻抗增大从而使

频带变宽。当厚度 $h < \lambda / 16$ 时，VSWR < 2 的频带宽度的经验公式是：

$$\text{频带(MHz)} = 5.04 f^2 h$$

，其中频率单位是 GHz，h 单位是毫米。

3. 基板厚度 h 对效率的影响：实验证明，随着基板厚度 h 的增加，辐射效率显著加大。

4. 工作带宽和 Q 值的关系：
$$BW = \frac{S - 1}{Q_r \sqrt{S}}$$
，S 为最大允许 VSWR 值。

5. Q 值和基板厚度 h 的关系：
$$Q_r = \frac{C \sqrt{\epsilon_r}}{4 f_r h}$$
。

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(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),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>