

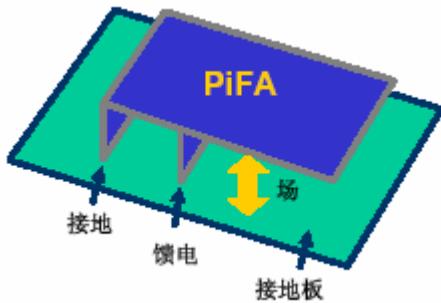
第五讲 手机 PIFA 天线分析

一、 引言

多年来，大多数手机天线都一直在沿用一种传统的 PIFA 天线设计方案。目前市面上可以看到的手机内置天线，有 60—80% 都是采用这种天线设计。所以，这一讲主要介绍这种天线的辐射原理和辐射特性。

二、 PIFA 天线的基本结构

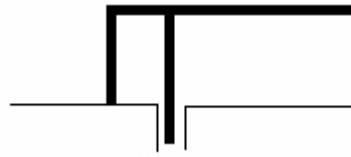
PIFA 天线的英文全名是“Planar Inverted F-shaped Antenna”，即“平面倒 F 型天线”。由于整个天线的形状像个倒写的英文字母 F，故得名。其基本结构是采用一个平面辐射单元作为辐射体，并以一个大的地面作为反射面，辐射体上有两个互相靠近的 Pin 脚，分别用于接地和作为馈点。



三、 PIFA 天线的由来

PIFA 天线最初来源于 IFA 天线，即倒 F 型线天线。但是线性 IFA 天线是一种小尺寸天线，当辐射单元仅采用顶部的一个金属导线时辐射效果并不理想（辐射电阻小），所以根据前面我们曾介绍过的，为增大辐射电阻和提高辐射效率而采用顶部加载的技术，将顶部的辐射线用辐射平面替代，从而形成平面辐射单元。

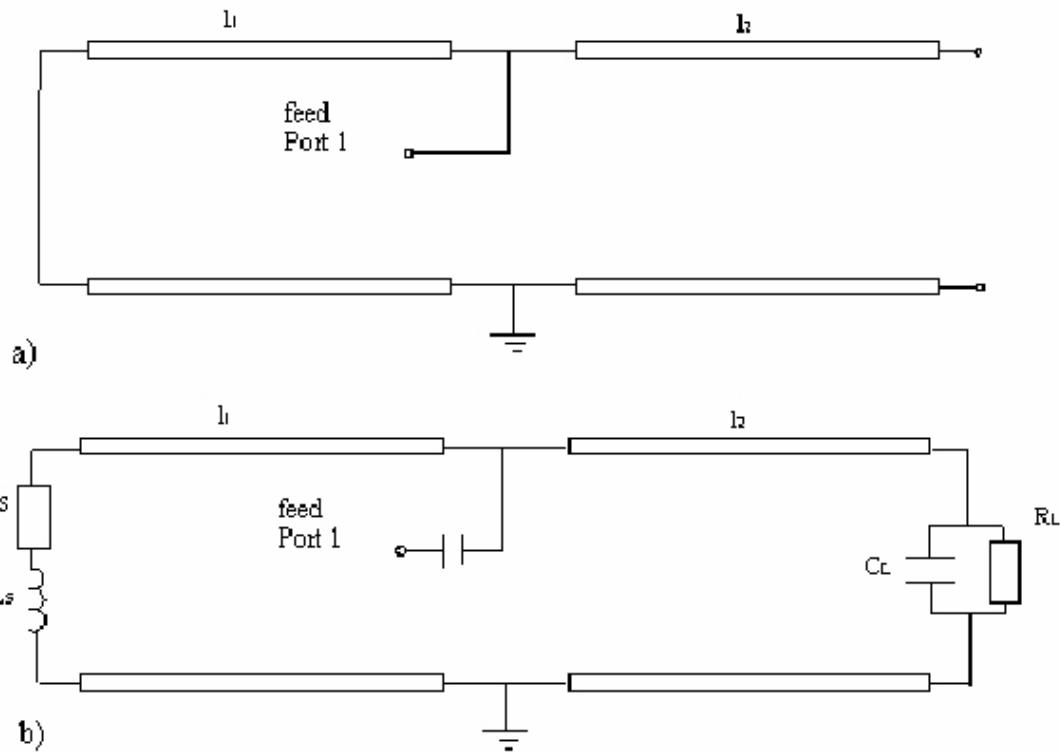
另一方面，当接地线和馈电线仅仅为一条细线时，其等效的射频分布电感较大，而引线上的分布电容较小，这就意味着天线具有较高的 Q 值和较窄的频带。根据电小天线 Q 值和带宽的关系，增大带宽的途径就是降低 Q 值，因此将接地线和馈电线用具有一定宽度的金属片取代可以增大分布电容和减小分布电感，从而增大天线带宽。这样就形成了 PIFA 天线。



四、PIFA 天线的传输线近似

PIFA 天线的传输线近似模型如下图所示。在忽略接地片和馈线的分布效应，PIFA 天线等效于两段长度分别为 l_1 和 l_2 的传输线相并联。其中 l_1 表示馈线与接地片之间的电长度， l_2 表示馈线与开路端的电长度。

考虑馈线和接地片的分布参数效应，PIFA 天线的传输线近似模型如下图 (b) 所示，其中 R_s 表示接地片的寄生电阻， L_s 表示接地片的分布电感。 R_L 和 C_c 表示开路端的寄生电阻和电容。



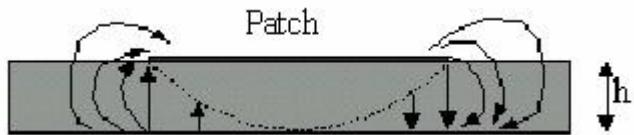
五、PIFA 天线的接地单极子近似

从某种程度上，PIFA 天线又类似于接地单极子天线，这是因为它也是一种放置在地面上方包含接地片的一种谐振式天线。由于接地线的作用，PIFA 天线的谐振长度从 $I/2$ 缩短为 $I/4$ ，这是 PIFA 天线可以缩小物理尺寸的首要原理。

六、PIFA 天线的微带天线近似

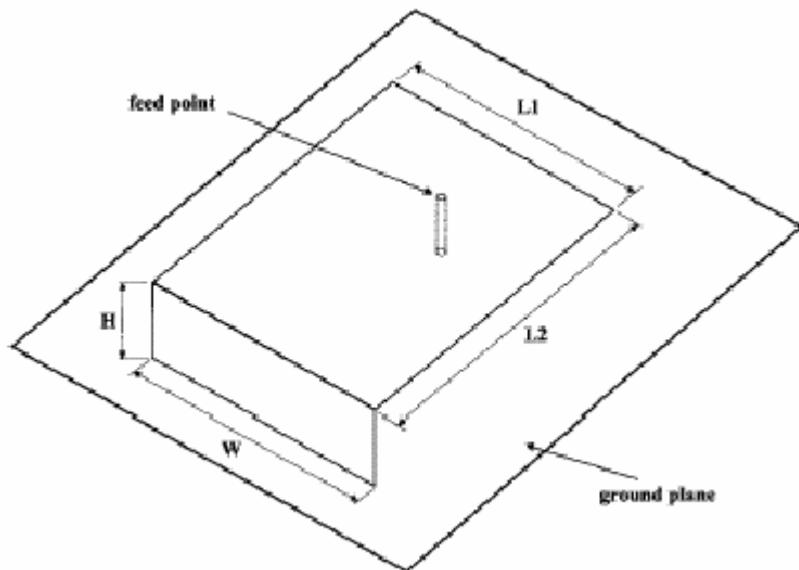
PIFA 天线在某种意义上也可以当做微带天线看待，这时辐射单元和接地面之间就是采用 $\epsilon_r = 1$ 的空气介质填充。

因此，PIFA 天线中的电场主要集中在导体边缘，PIFA 天线辐射场是边缘辐射场，这一点与微带天线类似。因此采用与微带天线类似的分析法可以对 PIFA 天线进行某些特性分析。



七、有关 PIFA 天线的若干定性结论

根据以上各种近似模型，已有不少文献中对 PIFA 天线进行近似分析，并得到很多有指导意义的结论。假设分析采用的 PIFA 天线结构参数如下图所示，则以下将总结相关结论。



(1) PIFA 天线（矩形辐射体）的近似谐振频率：

$$f_0 = \frac{c}{4(l_1 + l_2)} \quad \text{其中 } c \text{ 为真空光速。}$$

这个公式也表明：矩形辐射体 PIFA 天线长边和宽边之和近似等于 $1/4$ 。

(2) 辐射体和接地面之间的高度 H 对天线的工作带宽产生严重影响，带宽随着 H 的增加而增加。PIFA 天线中对带宽起决定作用的结构参数就是 H 。一般手机天线中 H 不允许低于 7mm，最好大于 8mm，严禁低于 6mm。

- (3) 接地片的宽度也对带宽产生影响。增加接地片的宽度将增加带宽，降低接地片的宽度将降低带宽。
- (4) 改变馈点的位置可以改变输入阻抗，因此可以通过改变馈点的位置实现频率调谐。但是这种方法往往比较难于实现。
- (5) PIFA 天线仅在半空间辐射，因此具有很高的前后比 (6-8dB)，比外置天线有较好的 SAR 值。

八、 接地面（PCB）尺寸对天线性能的影响

许多文献表明，PIFA 天线接地面的大小会影响天线的带宽。最优接地面尺寸受 PIFA 天线辐射体尺寸的影响。在手机设计中，GSM 频段最优接地面的大小大致为 $40 \times 120\text{mm}$ ，DCS 频段最优接地面大小大致为 $40 \times 80\text{mm}$ ，CDMA 频段最优接地面尺寸大致为 $40 \times 130\text{mm}$ 。如接地面的尺寸稍稍偏离最优尺寸，则会使带宽略有下降。手机板因受用户使用要求的限制，PCB 长度和接地面尺寸多在 $90\text{-}105\text{mm}$ 附近，其中也已经综合考虑了 PCB 对天线性能的影响因素。

九、 短路片和基地片之间的位置关系对天线性能的影响

短路片和接地片结合在一起可以看做双线传输线。忽略其分布电阻和电导，其分布电感和分布电容可以表示为：

$$L = (hm/p) \cosh^{-1}(d/2a)$$

$$C = (hpe) / \cosh^{-1}(d/2a)$$

式中 h 为辐射单元和接地面之间的高度， d 为接地片和馈电线中心的距离； $2a$ 为接地面和馈线的宽度。从上面两式可以得出以下结论：

- (1) 增加短路片和馈线的间距， L 将增大， C 将减小；
- (2) 增加辐射单元和地面之间的高度， L 和 C 都将增加；
- (3) 依赖于 L 和 C 的最终结果，电抗可能为容性或感性；
- (4) 如果最后获得的电抗呈感性，天线的谐振频率将降低；如果最后获得的电抗呈容性，则最后的谐振频率将增加。

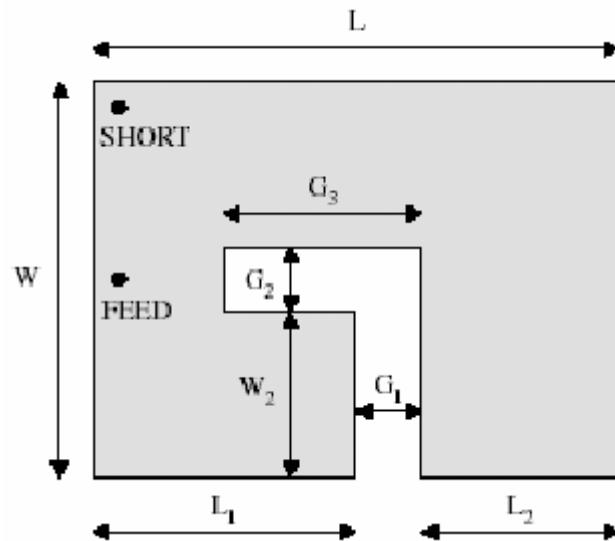
十、 多频段工作的实现

为适应手机多频段工作，需要内置天线实现多频段工作。PIFA 天线实现多频段工作，可以通过使用双馈点，或通过在 PIFA 天线上采用开槽的技术来实现。使用双馈点时调谐频率调谐范围往往受到一定的限制，因此实际手机中的多频段多采用开槽的方式实现多频工作。此处我们以 PIFA 天线中通常使用的两种开槽：L 型开槽和 U 型

开槽为例进行分析。

(1) L型开槽 PIFA 天线

L型开槽的 PIFA 天线辐射单元如下图所示：



通过开槽，在高频和低频下，PIFA 天线可以形成两个相对独立的电流回路，这就是开槽的 PIFA 天线实现双频工作的基本原理。在 L 型开槽下，较低工作频段的谐振频率大致可以表示为：

$$F_{(lo)} = C / 4(w + l)$$

[说明] 上述公式只具有近似的指导意义，不具有严格的意义。比如手机实际设计的预留尺寸不能根据上式不能严格计算出就是谐振在 880-960MHz 之间。

而较高的工作频率由于受多个因素的控制，因此不能用封闭公式表示。影响较高的谐振频率的因素主要有：

G1：L1 和 L2 之间的缝宽；

G2：辐射单元中间的缝宽；

G3：辐射单元中间的缝隙长度；

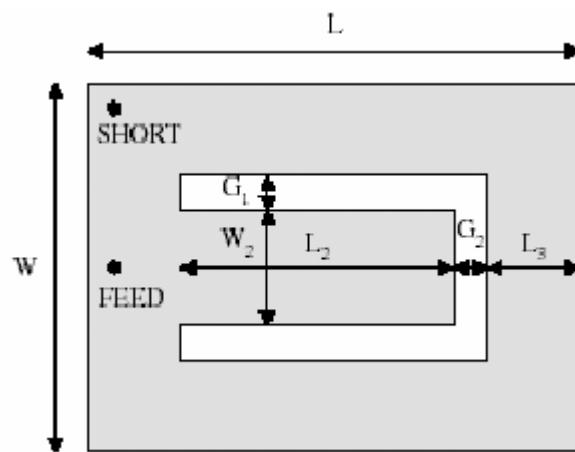
L2：开路端边缘的长度。

下表提供了以上的几种参数对 L 型开槽的 PIFA 天线性能的影响。

	F_1	F_2	$SWR1$	$SWR2$	$BW1$	$BW2$
$G_1 \uparrow$		\uparrow				
$G_2 \uparrow$		\downarrow	\uparrow			
$G_3 \uparrow$		\downarrow		\downarrow	\downarrow	
$L_2 \uparrow$	\downarrow	\downarrow				\uparrow

(2) U型开槽PIFA天线

U型开槽的PIFA天线如下图所示。



在这种开槽方式下，较低的谐振频率与 L型开槽类似，但较高谐振频率可以表示为以下的封闭公式：

$$f(up) = C / 4(w_2 + l_2)$$

而影响谐振频率和阻抗带宽最关键的因素是：

W：辐射单元的宽度；

L：辐射单元的长度；

W2：内部辐射单元的宽度；

L2：内部辐射单元的长度；

下表给出了以上参数对 U型开槽的 PIFA 天线性能的影响。

	F_1	F_2	$SWR1$	$SWR2$	$BW1$	$BW2$
$W, L \uparrow$	\downarrow					
$L_2 \uparrow$		\downarrow				
$W_2 \uparrow$		\downarrow				
$G \uparrow$		\downarrow	\downarrow		\downarrow	

以上给出的这些定性参数对实际工作具有一定的指导意义。

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>