

## RF电路的PCB设计技巧

如今PCB的技术主要按电子产品的特性及要求而改变，在近年来电子产品日趋多功能、精巧并符合环保条例。故此，PCB的精密度日高，其软硬板结合应用也将增加。

PCB是信息产业的基础，从计算机、便携式电子设备等，几乎所有的电子电器产品中都有电路板的存在。随着通信技术的发展，手持**无线射频电路**技术运用越来越广，这些设备(如手机、无线PDA等)的一个最大特点是：第一、几乎囊括了便携式的所有子系统；第二、小型化，而小型化意味着元器件的密度很大，这使得元器件（包括SMD、SMC、裸片等）的相互干扰十分突出。因此，要设计一个完美的射频电路与音频电路的PCB，以防止并抑制电磁干扰从而提高电磁兼容性就成为一个非常重要的课题。

因为同一电路，不同的**PCB设计**结构，其性能指标会相差很大。尤其是当今手持式产品的音频功能在持续增加，必须给予音频电路PCB布局更加关注. 据此本文对手持式产品RF电路与音频电路的PCB的巧妙设计（即包括元件布局、元件布置、布线与接地等技巧）作分析说明。

### 1、元件布局

先述布局总原则：元器件应尽可能同一方向排列，通过选择PCB进入熔锡系统的方向来减少甚至避免焊接不良的现象；由实践所知，元器件间最少要有0.5mm的间距才能满足元器件的熔锡要求，若PCB板的空间允许，元器件的间距应尽可能宽。对于**双面板**一般应设计一面为SMD及SMC元件，另一面则为分立元件。

#### 1.1 把PCB划分成数字区和模拟区

任何PCB设计的第一步当然是选择每个元件的PCB摆放位。我们把这一步称为“布板考虑”。仔细的元件布局可以减少信号互连、地线分割、噪音耦合以及占用电路板的面积。

电磁兼容性要求每个电路模块PCB设计时尽量不产生电磁辐射，并且具有一定的抗电磁干扰能力，因此，元器件的布局还直接影响到电路本身的干扰及抗干扰能力，这也直接关系到所设计电路的性能。

因此，在进行 RF 电路 PCB 设计时除了要考虑普通 PCB 设计时的布局外，主要还须考虑如何减小 RF 电路中各部分之间相互干扰、如何减小电路本身对其它电路的干扰以及电路本身的抗干扰能力。

由经验实所知，对于 RF 电路效果的好坏不仅取决于 RF 电路板本身的性能指标，很大部分还取决于与 CPU 处理板间的相互影响。由于 RF 电路包含数字电路和模拟电路，为了防止数字噪声对敏感的模拟电路的干扰，必须将二者分隔开，把 PCB 划分成数字区和模拟区有助于改善此类电路布局，显得尤为重要。

## 1.2 需要防止 RF 噪声耦合到音频电路

虽然手持式产品的 RF 部分通常被当作模拟电路处理，许多设计中需要关注的一个共同问题是 RF 噪声，需要防止 RF 噪声耦合到音频电路，因 RF 噪声经过解调后产生可闻噪音。为了解决这个问题，需要把 RF 电路和音频电路尽可能分隔开。在将 PCB 划分成模拟、数字后，需要考虑模拟部分的元件布置。元件布局要使音频信号的路径最短，音频放大器要尽可能靠近耳机插孔和扬声器放置，使 D 类音频放大器的 EMI 辐射最小，耳机信号的耦合噪音最小。模拟音频信号源须尽可能靠近音频放大器的输入端，使输入耦合噪声最小。所有输入引线对 RF 信号来说都是一个天线，缩短引线长度有助于降低相应频段的天线辐射效应。

## 2、元件布置应注意的问题与应用举例

### 2.1 布局中应注意的问题：

认真分析电路结构。对电路进行分块处理（如高频放大电路、混频电路及解调电路等），尽可能将强电信号和弱电信号分开，在将数字信号电路和模拟信号电路分开后，也应注意将完成同一功能的电路应尽量安排在一定的范围之内，从而减小信号环路面积；各部分电路的滤波网络必须就近连接，这样不仅可以减小辐射，而且可以减少被干扰的几率及提高电路的抗干扰能力。

根据单元电路在使用中对电磁兼容性敏感程度不同进行分组。对于电路中易受干扰部分的元器件在布局时还应尽量避开干扰源（比如来自数据处理板上 CPU 的干扰等）。

### 2.2 元件布置对音频信号影响的举例

#### 不合理的元件布局对音频信品质影响

一个不合理的音频元件布局，比较严重的问题有二：其一是**音频放大器**离音频信号源太远，由于引线从嘈杂的数字电路和开关电路附近穿过，从而增加了噪音耦合的几率。较长的引线也增强了RF天线效应。如手机电话采用GSM技术，这些天线能够拾取GSM发射信号，并将其馈入音频放大器。几乎所有放大器都能一定程度上解调 217Hz 包络，在输出端产生噪音。糟糕时，噪音可能会将音频信号完全淹没掉，缩短输入引线的长度能够有效降低耦合到音频放大器的噪声。其二音频是放大器放距离扬声器和耳机插座太远。

如果音频放大器采用的是D类放大器，较长的耳机引线会增大该放大器的**EMI辐射**。这种辐射有可能导致设备无法通过当地政府制定的测试标准。较长的耳机和麦克风引线还会增大引线阻抗，降低负载能够获取的功率。最后，因为元件布置得如此分散，元件之间的连线将不得不穿过其它子系统。这不仅会增加音频部分的布线难度，也增大了其它子系统的布线难度。

不合理的元件布局示意对音频信品质影响

### 合理的元件布局对音频信号品质改善

相同元件的排列，重新排列的元件能够更有效地利用空间，缩短引线长度。注意，所有音频电路分配在耳机插孔和扬声器附近，音频输入、输出引线比上述方案短得多，PCB 的其它区域没有放置音频电路。这样的设计能够全面降低系统噪音，减小 RF 干扰，并且布线简单。

合理的元件布局示意对音频信号品质改善

## 3 、布线原则与技巧

在基本完成元器件的布局后，就可开始布线了。

### 3.1 布线的基本原则

在组装密度许可情况下后，尽量选用低密度布线设计，并且信号走线尽量粗细一致，有利于阻抗匹配。

对于RF电路，信号线的走向、宽度、线间距的不合理设计，可能造成信号信号传输线之间的交叉干扰。而信号通路对音频输出噪音和失真的影响非常有限，也就是说为了保证性能需要提供的折中措施很有限。音频放大器通常由电池直接供电，需要相当大的电流。如果使用长而细的电源引线，会增大电源纹波。与短而宽的引线相比，又长又细的引线阻抗较大，引线阻抗产生的电流变化会转变成电压变化，馈送到器件内部。为了优化性能，放大器电源应使用尽可能短的引线。

应该尽可能使用差分信号。差分输入具有较高的噪声抑制，使得差分接收器能够抑制正、负信号线上的共模噪声。为充分利用差分放大器的优势，布线时保持相同的差分信号线对的长度非常重要，使其具有相同的阻抗，二者尽可能相互靠近使其耦合噪声相同。放大器的差分输入对抑制来自系统数字电路的噪声非常有效。另外，系统电源自身还存在噪声干扰，所以在**设计RF电路PCB**时一定要综合考虑，合理布线。

### 3.2 布线技巧

布线时，所有走线应远离**PCB板**的边框（2mm左右），以免PCB板制作时造成断线或有断线的隐患。电源线要尽可能宽，以减少环路电阻，同时，使电源线、地线的走向和数据传递的方向一致，以提高抗干扰能力；所布信号线应尽可能短，并尽量减少过孔数目；各元器件间的连线越短越好，以减少分布参数和相互间的电磁干扰；对于不相容的信号线应尽量相互远离，而且尽量避免平行走线，而在正向两面的信号线应用互垂直；布线时在需要拐角的地方应以  $135^\circ$  角为宜，避免拐直角。

## 4、接地

在射频电路 PCB 设计中，电源线和地线的正确布线显得尤其重要，合理的设计是克服电磁干扰的最重要的手段。PCB 上相当多的干扰源是通过电源和地线产生的，其中地线引起的噪声干扰最大。地线容易形成电磁干扰的主要原因于地线存在阻抗。当有电流流过地线时，就会在地线上产生电压，从而产生地线环路电流，形成地线的环路干扰。当多个电路共用一段地线时，就会形成公共阻抗耦合，从而产生所谓的地线噪声。因此，在对 RF 电路 PCB 的地线进行布线时应该做到：

对电路进行分块处理，射频电路基本上可分成高频放大、混频、解调、本振等部分，要为各个电路模块PCB设计时提供一个公共电位参考点即各模块电路各自的地线，这样信号就可以在不同的电路模块PCB设计时之间传输。然后，汇总于**射频电路PCB**接入地线的地方，即汇总于总地线。由于只存在一个参考点，因此没有公共阻抗耦合存在，从而也就没有相互干扰问题。

数字区与模拟区尽可能地线进行隔离，并且数字地与模拟地要分离，最后接于电源地。

在空间允许的情况下，各模块之间最好能以地线进行隔离，防止相互之间的信号耦合效应。

对于音频电路, 接地对于是否能够达到音频系统的性能要求至关重要。任何系统中接地有两个重要考虑: 首先它是流过器件的电流返回路径, 其次是数字和模拟电路的参考电位。这里给出了适用于所有系统的技巧:

为数字电路建立一个连续的地平面。地层的数字电流通过信号路径返回, 该环路的面积应保持最小, 以降低天线效应和寄生电感。确保所有数字信号引线具有对应的接地通路, 这一层应该与数字信号引线覆盖相同的面积, 具有尽可能少的断点。地层的断点, 包括过孔, 会使地电流流过更大的环路, 因而产生更大的辐射和噪声。

保证地电流隔离。数字电路和模拟电路的地电流要保持隔离, 以阻止数字电流对模拟电路的干扰。为了达到这一目标, 需要正确排列元件。如果把模拟电路布置在PCB的一个区域, 把数字电路布置在另一区域, 地电流会自然隔离开。最好使模拟电路具有独立的PCB分层。

模拟电路采用星形接地。星形接地是将 PCB 的一点看作公共接地点, 而且只有这一点被当作地电位, 蜂窝电话中, 电池地端通常被作为星形接地点, 流入地平面的电流不会自动消失, 所有地电流都将汇入到这个接地点。音频放大器吸收相当大的电流, 这会影响电路本身的参考地和其它系统的参考地。为了解决这一问题, 最好提供一个专用的返回回路桥接放大器的功率地和耳机插孔的地回路。注意, 这些专用的回路不要穿越数字信号线, 因为它们会阻碍数字返回电流。

最大化旁路电容作用。几乎所有器件都需要一个旁路电容, 以提供电源不能提供的瞬态电流。这些电容需尽可能靠近电源引脚放置, 以减少电容和器件引脚之间的寄生电感, 电感会降低旁路电容的作用。

### 接地分布的电路板实例

以用于 PCB 设计中估超低 EMI、1.5W、无滤波 D 类音频功率放大器和 80mW DirectDrive 耳机放大器 MAX9776PCB 设计中估板为例作说明。

一个具有较好接地分布的电路板实例(即丝印层和地层举例), 图 3(a)为元件布局A(正)面, 图 3(b)为元件布局B(背)。首先需要注意PCB底部为数字区域, 顶部为模拟区域。穿越区域边界的唯一信号线是I2C控制信号, 这些信号线有一个直接的返回路径, 确保数字信号只存在于数字区域, 没有地层分割导致的数字地电流。还要注意大部分地平面是连续的, 即使数字区域有一些中断, 但彼此之间的距离足够远, 保证了电流通道的顺畅。在这个例子中, 星形接地点在

PCB顶层的左上角。模拟地层的断点确保D类放大器和电荷泵的电流直接返回星形接地点，不会干扰其它模拟层。另外，还需注意耳机插孔有一条引线直接将耳机地电流返回到星形接地点。

## 5、结论

以上设计良好的PCB是一件耗时，同时也是极具挑战性的工作，但这种投入也的确是值得的。好的PCB布局有助于降低系统噪音，提高RF信号的抑制能力，减小信号失真。好的PCB设计还会改善EMI性能，有可能需要更少的屏蔽。如果PCB不合理，会在测试阶段出现本来可以避免的问题。这时在采取措施的话，可能为时已晚，很难解决所面临的问题，需要投入更多的时间、花费更大的精力，有时还要添加额外的元件，增加系统成本和复杂性。



## 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。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



### 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>

### 手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



### WiFi 和蓝牙天线设计培训课程



该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP)公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习!...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.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 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>

## 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>



### 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>