

## PCB Layout 中的走线策略

布线（Layout）是 PCB 设计工程师最基本的工作技能之一。走线的好坏将直接影响到整个系统的性能，大多数高速的设计理论也要最终经过 Layout 得以实现并验证，由此可见，布线在高速 PCB 设计中是至关重要的。下面将针对实际布线中可能遇到的一些情况，分析其合理性，并给出一些比较优化的走线策略。主要从直角走线，差分走线，蛇形线等三个方面来阐述。

### 1. 直角走线

直角走线一般是 PCB 布线中要求尽量避免的情况，也几乎成为衡量布线好坏的标准之一，那么直角走线究竟会对信号传输产生多大的影响呢？从原理上说，直角走线会使传输线的线宽发生变化，造成阻抗的不连续。其实不光是直角走线，顿角，锐角走线都可能会造成阻抗变化的情况。



图1-8-13 不同角度走线的拐角线宽变化

直角走线的对信号的影响就是主要体现在三个方面：一是拐角可以等效为传输线上的容性负载，减缓上升时间；二是阻抗不连续会造成信号的反射；三是直角尖端产生的 EMI。

传输线的直角带来的寄生电容可以由下面这个经验公式来计算：

$$C=61W(Er)^{1/2}/Z0$$

在上式中，C 就是指拐角的等效电容（单位：pF），W 指走线的宽度（单位：inch）， $\epsilon_r$  指介质的介电常数， $Z0$  就是传输线的特征阻抗。举个例子，对于一个 4Mils 的 50 欧姆传输线（ $\epsilon_r$  为 4.3）来说，一个直角带来的电容量大概为 0.0101pF，进而可以估算由此引起的上升时间变化量：

$$T_{10-90\%}=2.2*C*Z0/2 = 2.2*0.0101*50/2 = 0.556ps$$

通过计算可以看出，直角走线带来的电容效应是极其微小的。

由于直角走线的线宽增加，该处的阻抗将减小，于是会产生一定的信号反射现象，我们可以根据传输线章节中提到的阻抗计算公式来算出线宽增加后的等效阻抗，然后根据经验公式计算反射系数： $\rho=(Z_s-Z_0)/(Z_s+Z_0)$ ，一般直角走线导致的阻抗变化在 7%-20%之间，因而反射系数最大为 0.1 左右。而且，从下图可以看到，在  $W/2$  线长的时间内传输线阻抗变化到最小，再经过  $W/2$  时间又恢复到正常的阻抗，整个发生阻抗变化的时间极短，往往在 10ps 之内，这样快而且微小的变化对一般的信号传输来说几乎是可以忽略的。

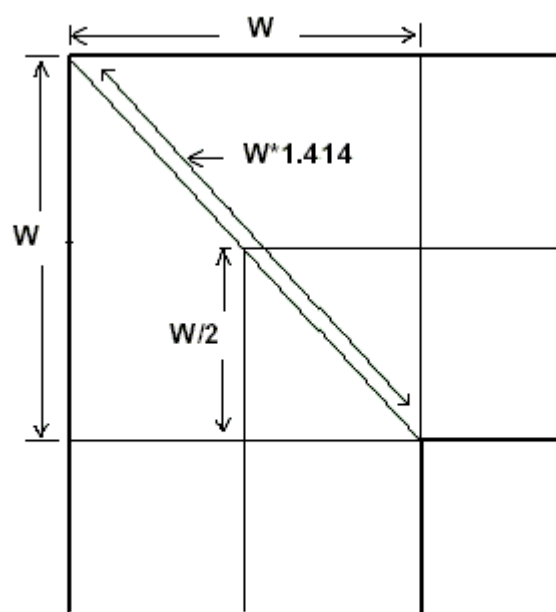


图1-8-14 90度拐角分析

很多人对直角走线都有这样的理解，认为尖端容易发射或接收电磁波，产生 EMI，这也成为许多人认为不能直角走线的理由之一。然而很多实际测试的结果显示，直角走线并不会比直线产生很明显的 EMI。也许目前的仪器性能，测试水平制约了测试的精确性，但至少说明了一个问题，直角走线的辐射已经小于仪器本身的测量误差。

总的说来，直角走线并不是想象中的那么可怕。至少在 GHz 以下的应用中，其产生的任何诸如电容，反射，EMI 等效应在 TDR 测试中几乎体现不出来，高速 PCB 设计工程师的重点还是应该放在布局，电源/地设计，走线设计，过孔等其它方面。当然，尽管直角走线带来的影响不是很严重，但并不是说我们以后都可以走直角线，注意细节是每个优秀工程师必备的基本素质，而且，随着数字电路的飞速发展，PCB 工程师处理的信号频率也会不断提高，到 10GHz 以上的 RF 设计领域，这些小小的直角都可能成为高速问题的重点对象。

## 2. 差分走线

差分信号 (Differential Signal) 在高速电路设计中的应用越来越广泛，电路中最关键的信号往往都要采用差分结构设计，什么另它这么倍受青睐呢？在 PCB 设计中又如何能保证其良好的性能呢？带着这两个问题，我们进行下一部分的讨论。

何为差分信号？通俗地说，就是驱动端发送两个等值、反相的信号，接收端通过比较这两个电压的差值来判断逻辑状态“0”还是“1”。而承载差分信号的那一对走线就称为差分走线。

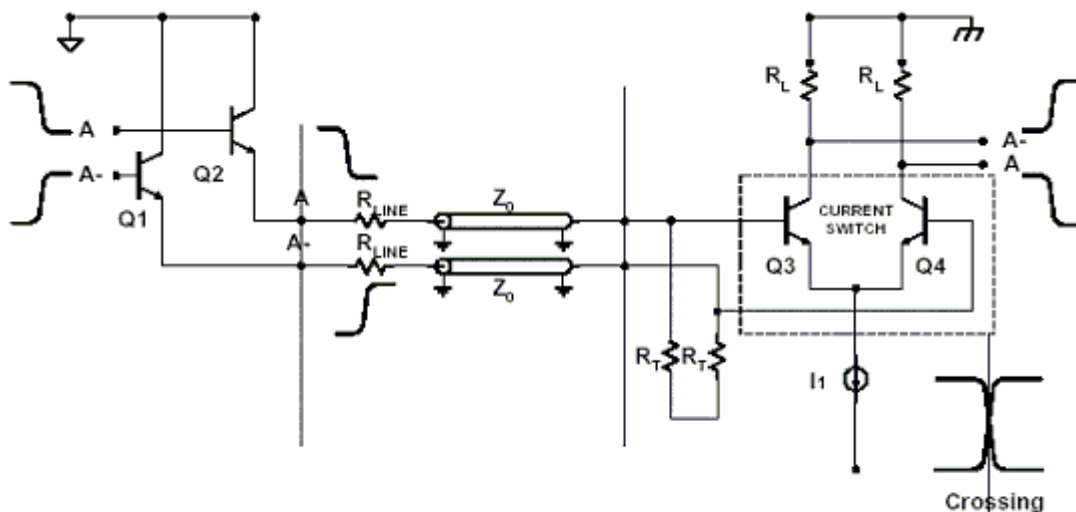


图1-8-15 差分信号结构示意图

差分信号和普通的单端信号走线相比，最明显的优势体现在以下三个方面：

- 抗干扰能力强，因为两根差分走线之间的耦合很好，当外界存在噪声干扰时，几乎是同时被耦合到两条线上，而接收端关心的只是两信号的差值，所以外界的共模噪声可以被完全抵消。
- 能有效抑制 EMI，同样的道理，由于两根信号的极性相反，他们对外辐射的电磁场可以相互抵消，耦合的越紧密，泄放到外界的电磁能量越少。
- 时序定位精确，由于差分信号的开关变化是位于两个信号的交点，而不像普通单端信号依靠高低两个阈值电压判断，因而受工艺，温度的影响小，能降低时序上的误差，同时也更适合于低幅度信号的电路。目前流行的 LVDS (low voltage differential signaling) 就是指这种小振幅差分信号技术。

对于 PCB 工程师来说，最关注的还是如何确保在实际走线中能完全发挥差分走线的这些优势。也许只要是接触过 Layout 的人都会了解差分走线的一般要求，那就是“等长、等距”。等长是为了保证两个差分信号时刻保持相反极性，减少共模分量；等距则主要是为了保证两者差分阻抗一致，减少反射。“尽量靠近原则”有时候也是差分走线的要求之一。但所有这些规则都不是用来生搬硬套的，不少工程师似乎还不了解高速差分信号传输的本质。下面重点讨论一下 PCB 差分信号设计中几个常见的误区。

误区一：认为差分信号不需要地平面作为回流路径，或者认为差分走线彼此为对方提供回流途径。造成这种误区的原因是被表面现象迷惑，或者对高速信号传输的机理认识还不够深入。从图 1-8-15 的接收端的结构可以看到，晶体管 Q3, Q4 的发射极电流是等值，反向的，他们在接地处的电流正好相互抵消 ( $I_1=0$ )，因而差分电路对于类似地弹以及其它可能存在于电源和地平面上的噪音信号是不敏感的。地平面的部分回流抵消并不代表差分电路就不以参考平面作为信号返回路径，其实在信号回流分析上，差分走线和普通的单端走线的机理是一致的，即高频信号总是沿着电感最小的回路进行回流，最大的区别在于差分线除了有对地的耦合之外，还存在相互之间的耦合，哪一种耦合强，那一种就成为主要的回流通路，图 1-8-16 是单端信号和差分信号的地磁场分布示意图。

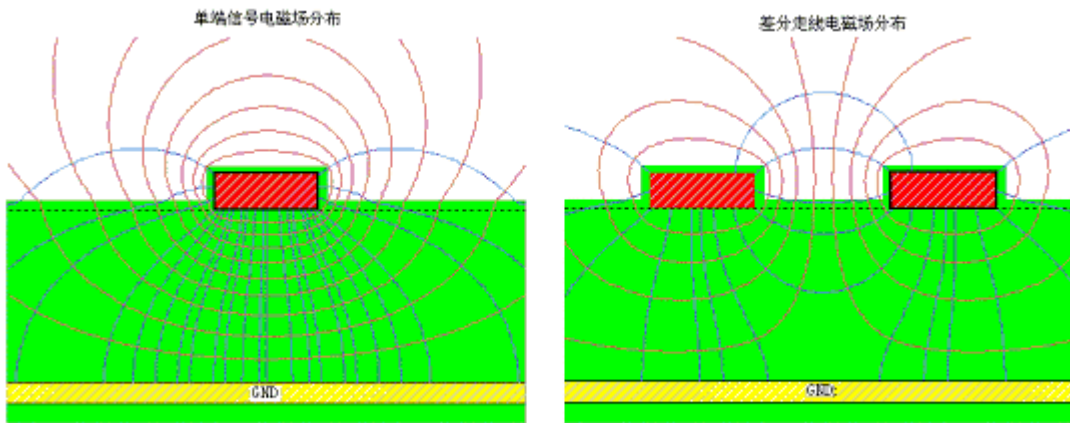


图1-8-16 单端信号和差分信号的地磁场分布示意图

在 PCB 电路设计中，一般差分走线之间的耦合较小，往往只占 10~20%的耦合度，更多的还是对地的耦合，所以差分走线的主要回流路径还是存在于地平面。当地平面发生不连续的时候，无参考平面的区域，差分走线之间的耦合才会提供主要的回流通路，见图 1-8-17 所示。尽管参考平面的不连续对差分走线的影响没有对普通的单端走线来的严重，但还是会降低差分信号的质量，增加 EMI，要尽量避免。也有些设计人员认为，可以去掉差分走线下方的参考平面，以抑制差分传输中的部分共模信号，但从理论上讲这种做法是不可取的，阻抗如何控制？不给共模信号提供地阻抗回路，势必会造成 EMI 辐射，这种做法弊大于利。

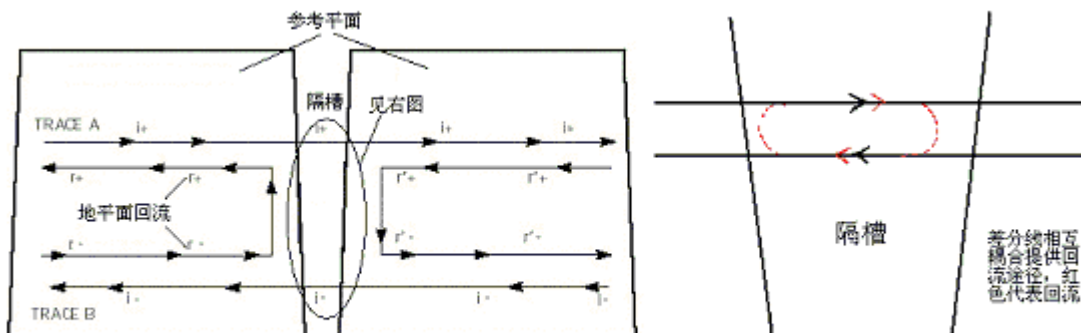


图1-8-17 不连续的地平面上的差分信号回流

误区二：认为保持等间距比匹配线长更重要。在实际的 PCB 布线中，往往不能同时满足差分设计的要求。由于管脚分布，过孔，以及走线空间等因素存在，必须通过适当的绕线才能达到线长匹配的目的，但带来的结果必然是差分对的部分区域无法平行，这时候我们该如何取舍呢？在下结论之前我们先看看下面一个仿真结果。

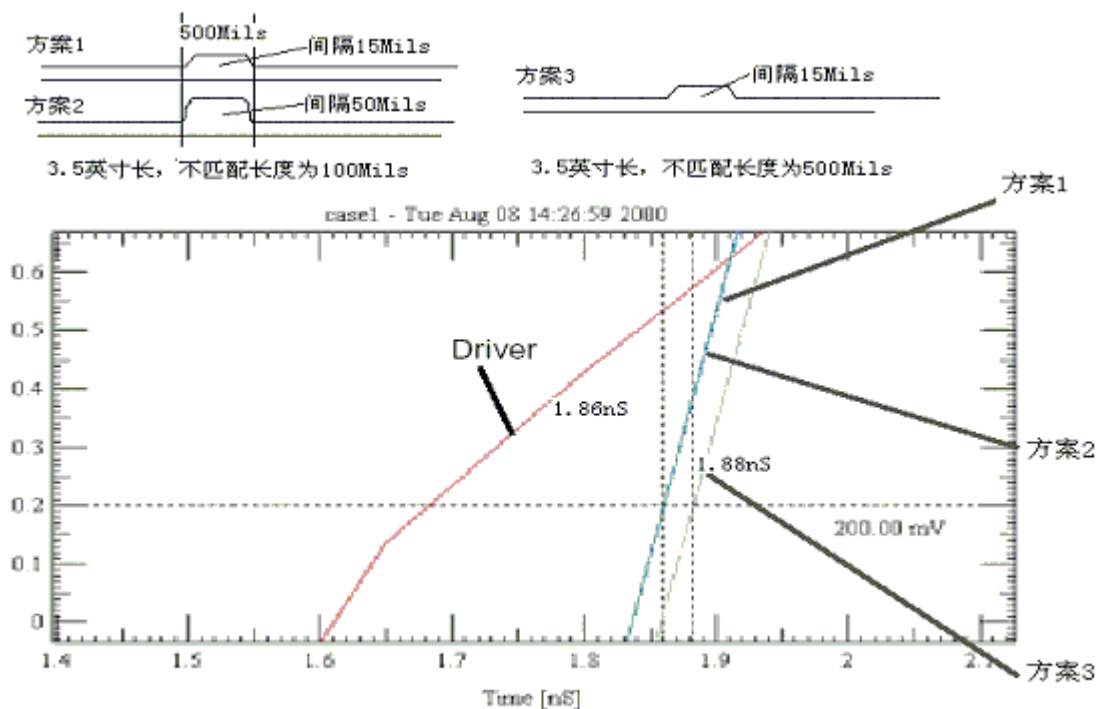


图1-8-18 差分走线间距不等和线长不匹配的影响

从上面的仿真结果看来，方案 1 和方案 2 波形几乎是重合的，也就是说，间距不等造成的影响是微乎其微的，相比较而言，线长不匹配对时序的影响要大得多（方案 3）。再从理论分析来看，间距不一致虽然会导致差分阻抗发生变化，但因为差分对之间的耦合本身就不显着，所以阻抗变化范围也是很小的，通常在 10% 以内，只相当于一个过孔造成的反射，这对信号传输不会造成明显的影响。而线长一旦不匹配，除了时序上会发生偏移，还给差分信号中引入了共模的成分，降低信号的质量，增加了 EMI。

可以这么说，PCB 差分走线的设计中最重要的规则就是匹配线长，其它的规则都可以根据设计要求和实际应用进行灵活处理。

误区三：认为差分走线一定要靠的很近。让差分走线靠近无非是为了增强他们的耦合，既可以提高对噪声的免疫力，还能充分利用磁场的相反极性来抵消对外界的电磁干扰。虽说这种做法在大多数情况下是非常有利的，但不是绝对的，如果能保证让它们得到充分的屏蔽，不受外界干扰，那么我们也就不需要再让通过彼此的强耦合达到抗干扰和抑制 EMI 的目的了。如何才能保证差分走线具有良好的隔离和屏蔽呢？增大与其它信号走线的间距是最基本的途径之一，电磁场能量是随着距离呈平方关系递减的，一般线间距超过 4 倍线宽时，它们之间的干扰就极其微弱了，基本可以忽略。此外，通过地平面的隔离也可以起到很好的屏蔽作用，这种结构在高频的（10G 以上）IC 封装 PCB 设计中经常会用采用，被称为 CPW 结构，可以保证严格的差分阻抗控制（2Z0），如图 1-8-19。

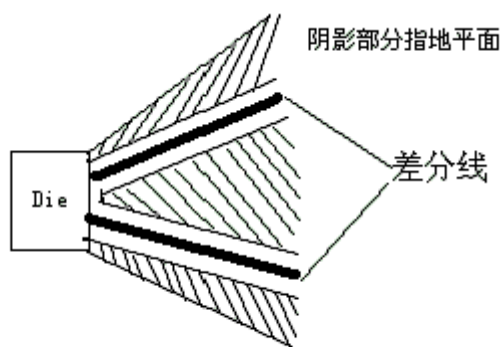


图1-8-19 封装中的CPW结构

差分走线也可以走在不同的信号层中，但一般不建议这种走法，因为不同的层产生的诸如阻抗、过孔的差别会破坏差模传输的效果，引入共模噪声。此外，如果相邻两层耦合不够紧密的话，会降低差分走线抵抗噪声的能力，但如果能保持和周围走线适当的间距，串扰就不是个问题。在一般频率（GHz 以下），EMI 也不会是很严重的问题，实验表明，相距 500Mils 的差分走线，在 3 米之外的辐射能量衰减已经达到 60dB，足以满足 FCC 的电磁辐射标准，所以设计者根本不用过分担心差分线耦合不够而造成电磁不兼容问题。

### 3. 蛇形线

蛇形线是 Layout 中经常使用的一类走线方式。其主要目的就是为了调节延时，满足系统时序设计要求。设计者首先要有这样的认识：蛇形线会破坏信号质量，改变传输延时，布线时要尽量避免使用。但实际设计中，为了保证信号有足够的保持时间，或者减小同组信号之间的时间偏移，往往不得不故意进行绕线。

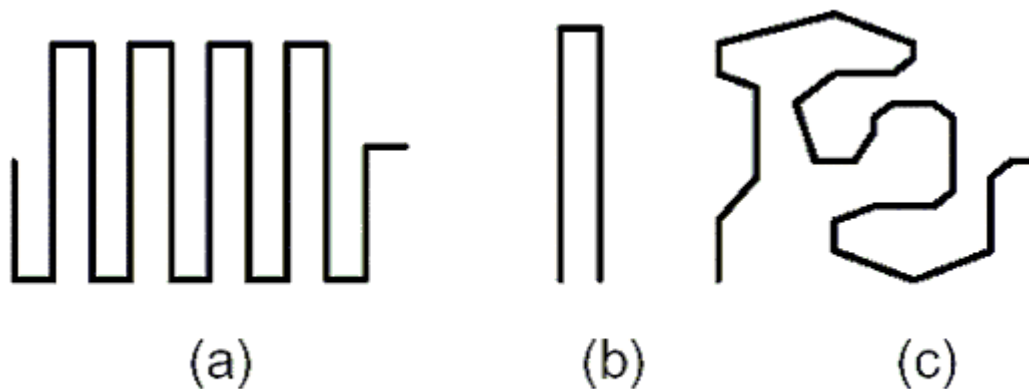


图1-8-20 几种蛇形走线结构

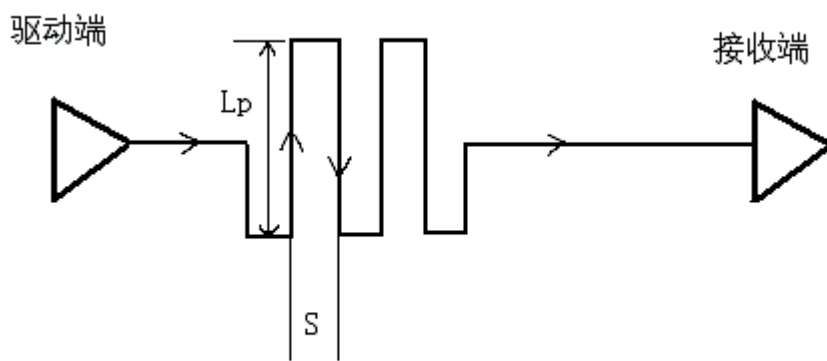


图1-8-21 蛇形走线模型

那么，蛇形线对信号传输有什么影响呢？走线时要注意些什么呢？其中最关键的两个参数就是平行耦合长度 ( $L_p$ ) 和耦合距离 ( $S$ )，如图 1-8-21 所示。很明显，信号在蛇形走线上传输时，相互平行的线段之间会发生耦合，呈差模形式， $S$  越小， $L_p$  越大，则耦合程度也越大。可能会导致传输延时减小，以及由于串扰而大大降低信号的质量，其机理可以参考第三章对共模和差模串扰的分析。

下面是给 Layout 工程师处理蛇形线时的几点建议：

1. 尽量增加平行线段的距离 ( $S$ )，至少大于  $3H$ ， $H$  指信号走线到参考平面的距离。通俗的说就是绕大弯走线，只要  $S$  足够大，就几乎能完全避免相互的耦合效应。
2. 减小耦合长度  $L_p$ ，当两倍的  $L_p$  延时接近或超过信号上升时间时，产生的串扰将达到饱和。
3. 带状线 (Strip-Line) 或者埋式微带线 (Embedded Micro-strip) 的蛇形线引起的信号传输延时小于微带走线 (Micro-strip)。理论上，带状线不会因为差模串扰影响传输速率。
4. 高速以及对时序要求较为严格的信号线，尽量不要走蛇形线，尤其不能在小范围内蜿蜒走线。
5. 可以经常采用任意角度的蛇形走线，如图 1-8-20 中的 C 结构，能有效的减少相互间的耦合。
6. 高速 PCB 设计中，蛇形线没有所谓滤波或抗干扰的能力，只可能降低信号质量，所以只作时序匹配之用而无其它目的。



7. 有时可以考虑螺旋走线的方式进行绕线, 仿真表明, 其效果要优于正常的蛇形走线。

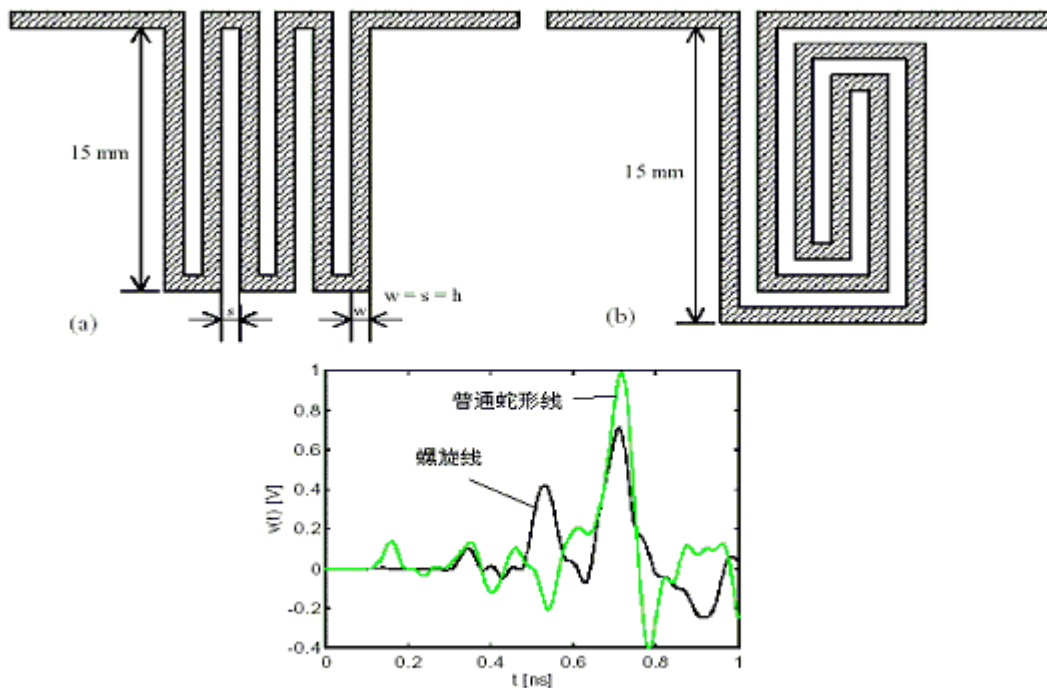


图1-8-22 螺旋走线和普通蛇形线的比较

## PCB 之 RS274 格式随谈

在 PCB 制作行业如果你还不知道 rs274 是什么东西的话, 那你该看看下面这篇文章!

无论您在您的 PCB 的 CAD 系统中花费了多少精力, 无论您的印刷电路板设计得多么完美, 您都必须处理您的资料, 让它们合乎 CAM 系统的标准. 所以您必须了解一些必要的 CAM 系统的知识. !

### 介绍

不管你的设计软件如何强大, 你都必须最终创建 Gerber 格式的光绘文件才能光绘胶片。很好地理解可以减少您对它的厌恶感。 错误地理解光绘文件的内容, PCB 设计系统和光绘系统的关系是这个行业中产生废胶片的最大的原因。

### 光绘机的简单描述

在详细介绍光绘文件之前, 简单的就光绘机的原理做一下简单的介绍, 各位如有什么不同意见欢迎来信赐教!

早期的光绘机是由精确的伺服系统及受它控制的用来装高对比度胶片的 X-Y 桌面组成的。一个很亮的光源直透过快门, 透过光圈, 聚焦在胶片上。控制系统把 Gerber 命令成适当的桌面移动、轮子的转动和



快门的开闭。

## 1 . 光绘机原理

当快门打开，光柱透过光圈把光圈的影像暴光在胶片上。当快门打开、桌面同步移动时，线条或条纹被影像到胶片上。使用正确的命令控制桌面的移动、光圈的选择和快门的操作，光绘机就能在胶片上生成任何需要的影像。

随着科技的不断发展, Gerber Scientific (现在的 Gerber 系统) 开始通过生产精密的机器来控制光绘机做业。“Gerber”这个词在光绘机上已经名不副实, 从现在开始我呢仍将用 “Gerber” 文件这种说法来说明 RS274X 光绘命令。

## 2. . 光绘机操作

Gerber 资料最漂亮的地方就在于它的简洁，它只有四个基本的命令加上对应的资料。数据库就不得不定义得简单和紧凑。这就需要把尽可能多的信息压缩到尽可能少的字节以说明许多“问题”，我想在当时他们并没有预料到存储空间是用数以百计的兆字节代替数以百计的字节来计量的今天。

但是，简洁也有它自己的代价。Gerber 文件缺乏驱动光绘机必需的基本信息。这些丢失的信息是由设计者另外交给光绘操作员的，这正是错误的源泉。实际上，定义一种非标准的扩展命令的诱惑是无法抗拒的。每个光绘机生产商都支持在基本 GERBER 命令上加上一些他们认为区分他们的光绘机所必须的信息。这就造成光绘机厂商不得不开发自己的 GERBER 文件转换软件包，后果呢？就是一家厂家的特性而另一家却不支持。

## Gerber 文件介绍

下面简单的举例说明 GERBER 格式的内容和结构：

G90*	1
G70*	2
G54D10*	3
G01X0Y0D02*	4
X450Y330D01*	5
X455Y300D03*	6
G54D11*	7
Y250D03*	8
Y200D03*	9
Y150D03*	10
X0Y0D02*	11
M02*	12

(在上边的行号不是文件的内容。)即使是一个对 GERBER 文件一窍不通的人也能正确推断出这里每一行表示一个特殊的机器命令，而且星号(\*)是命令的结束符。这在有些软件和教材中被称为块(Block)，大多数机器和软件只是按块处理 Gerber 命令，而不理会行。这里可以看出不同命令的相同之处：使用 G、D、M 等命令和 X、Y 对应的资料。

#### G-Codes: 设置初始条件

Gerber 调用 Gxx 命令作为初始码。大多数情况下，这些码被用来配置机器在绘图之前的状态。有一些 G 码对认识 Gerber 文件是很重要的：

**G90/G91 相对 / 绝对坐标** 在第一行的 G90 命令告诉机器资料坐标是绝对的, 每一个坐标的设置都是相对于桌面的原点 (0, 0)。绝对的反面就是相对，也就是所有的坐标都是相对与前一坐标增加的。相对坐标就是通过 G91 命令设置的。

现在您也许很少看到 G90，因为许多软件把绝对坐标作为默认的设置，并且不再标注 G90。这就产生了一个问题——许多后来产生的资料格式也不再费心于 G91 命令。如果您在您的 CAM 工作站上看到象图 3 那样的一团“爆炸图”，那就有可能是您试图用绝对坐标方式来读用相对坐标方式生成的文件；当然，也有可能您使用相对坐标方式来读绝对坐标方式的文件。

图 3. 用绝对方式显示相对方式文件。G70/G71

**G70/G71 英寸/毫米**：第二行的 G70 表示下面的资料是使用英寸 (INCH) 作单位的，这也是一个在 GERBER 文件中很少出现但很重要的 G 码。在美国和欧洲大部地区习惯使用英寸，而在世界大部分地区却习惯使用毫米 (millimeters) 做单位，或者两者都使用。G71 就是表明单位是公制。1 英寸等于 25.4 毫米。

**G54. D 码选择**：在第三行的 G54 是用来表明光圈转换的，它是最常用的 G 码，是用来指示光绘机把

光孔轮转到适当的位置，这个位置是由紧跟在 G54 后面的 Dxx 来指示的。现在 G54 常常被省略，只是靠 D 码（除 D01、D02、D03）来指示光绘机变换光圈。

G04：注解命令 大多数的光绘机都会忽略 G04 后面的内容。G04 就好象 MS-DOS 批处理文件中的“REM”命令一样，它后面的内容只是为了帮助人们更容易理解文件。

G01：画直线命令 在一些光绘机中要求圆弧命令必须用 G01 配合，G01 只是表示光绘机桌面的移动是直线的。

画圆弧命令：G02/G03 和 G74/G75

如果有必要而且 Gerber 文件里有相应的命令，Gerber 光绘机也能画圆弧。

在很早的时候，圆弧是很少用到 PCB（print circuit board, 印刷电路板）设计中。后来，为了平衡板材的张力、还有一些是为了减小高速电路的高频发射，在 PCB 设计中开始使用圆弧。并且使 Gerber 命令有了相应的发展。

基本的圆弧命令语法：

G##X#####Y#####I#####J#####D##\*

实例：G02X40Y30I150J0D01\*

G##代表 G02、G03。G02 是指示光绘机顺时针画弧，G03 是指示光绘机逆时针画弧。I，J 表示圆弧的另一个重要的点——圆心。这些命令最好是不要省略。

下面我们将花费一点时间来详细讨论画圆命令。早期的光绘机只能画弧度不超过 90 度的圆弧，现在的光绘机已经能画 360 度的圆弧。这就留下一个问题：360 度的弧的资料格式也同 90 度一样，只是在文件头上用 G74、G75 标出，当光绘机读到 G74 时，它就开始以 90 度方式处理下面的资料；当它发现 G75 时就以 360 度的方式处理下面的资料。如果您的资料没有错，而且您的 CAM 软件能正确处理圆弧，那么在您处理 90 度文件时，您的工作站的显示器上就不应该出弧度大于 1/4 圆的弧；相反并不成立，处理 360 度文件时，有可能看到弧度很小的弧，这是因为大多数“新”光绘机在设计时就考虑到兼容性问题。

现在我们来研究一下光绘机是如何处理圆命令的，刚刚了解 Gerber 文件的人大多数会认为 G##X#####Y#####I#####J#####D##\*会包含一个圆弧的所有内容，其实不然，它前面的一个点也是很重要的，这个点就是圆弧的起点，而 G##后面的点是圆弧的终点，I，J 是圆心相对与起点的相对坐标。所以大多数软件生成的圆弧命令是这样的：G01X#####Y#####D02\*G##X#####Y#####I#####J#####D01\*

顺便提一下，您选购您的 CAM 软件或在买光绘机时一定要试一试它处理圆弧的能力。

画线和画点命令 D01、D02、D03

D 码，简单讲就是第一位字符是“D”。Gerber 文件中有三个 D 码是用来控制桌面沿着 X-Y 移动的。

D01 (D1)：打开快门，同时移动桌面到对应的 X-Y 坐标。

D02 (D2)：关闭快门，同时移动桌面到对应的 X-Y 坐标。

D03 (D3)：打开快门，同时移动桌面到对应的 X-Y 坐标。然后快速地打开、关闭快门，这样就形成一个曝光点。

D01 是一个画线的命令；D02 是一个只移动桌面而不曝光胶片的命令。打个比方，D01、 D02 就好象笔式光绘仪中的落笔画线和提笔移动笔架。

D03 是“闪烁”命令，桌面移动时快门是关闭的，当桌面移动到对应的坐标时快门打开一下又马上关闭——这样就会在胶片上留下光圈的影像。 D03 在画印刷电路板上的焊盘时是一个十分有效的命令。

D01、D02、D03 命令总是跟在他们对应的资料后面，正如下面的例子：

```
X0Y0D02*  
X450Y330D01*  
X455Y300D03*
```

这段资料将让光绘机做如下动作：关闭快门，移动桌面到原点；打开快门，移动桌面到 450，330；（这样就从 0，0 画线到 450，330。）关闭快门，移动到 455，300，打开快门，关闭快门。

光圈标志——D 码（D-CODE） D10-D999

不象 D01、D02、D03 ，D10 到 D999 是资料而不是命令，它们是标注光圈或光圈轮上的位置。早期的光绘机使用的是一种有 24 孔/槽的光圈轮。

表 1 是早期的光绘机的光孔与 D 码的对应表。

表 1. D 码（D-CODE）与光圈（APERTURE）的对应

D 码	光圈序号 18	D 码	光圈序号
10	1	20	13
11	2	21	14
12	3	22	15
13	4	23	16
14	5	24	17
15	6	25	18
16	7	26	19
17	8	27	20
18	9	28	21

18	9	28	21
19	10	29	22
70	11	72	23
71	12	73	24

可以看出从 D10 到 D19 是按正常顺序排列的，紧跟在后面就是 D70、D71，而 D20 被排到第 13 位。从 D20 到 D29 依次顺延。到 D30 时光圈序号应该是 23，但是 D72、D73 被插到 D30 之前。大多数光绘、CAM 软件需要您根据 D 码输入光圈的信息（形状、大小），少数软件是按光圈序号输入的（此时就需要根据上面的对应表重新排列）。

值得提一下的是 D3 到 D9 是一种特殊码，最早时是用来表示虚线、点画线等特殊线段，现在已经很少用到它们了，即使用到也只是某些落后的光绘机的专用代码，它们的具体含义就请查阅光绘机的说明书。

#### 杂项命令 M-码

Gerber 文件中最常用的 M 码是 M00、M01、M02。

我们经常在文件末尾看到 M02。M00/M01/M02 都是表示 Gerber 文件结束，只不过不同的机器使用不同的 M 码，而大多数软件是使用 M02。但是要注意的是有一些软件为了确保在读入文件时不会和其它的资料混合，在文件头上加了 M02 等 M 码，而其它的软件一旦读到“M02”就认为文件已结束，从而会是资料丢失。另外一种情况是，有的软件喜欢把多个文件合并在一起，中间用“M02”区分，这些软件在处理这种文件时会自动把资料分开，但是其它软件就不一定会如此处理了。

还有一些软件会在文件头上加上 M 码作为文件的标识符，具体是何种 M 码各种软件各不相同。但现在大多数软件都会忽

#### X, Y 坐标资料

正是大量的坐标资料构成了 Gerber 文件，而 Gerber 文件中最多的就是 X-Y 坐标资料，只有压缩坐标资料才能达到压缩 Gerber 文件的目的。所以，您要手工排版 Gerber 文件中的坐标是非常困难的，因为在 Gerber 规范中已经对坐标资料作了一些处理。

- 在 X、Y 资料中省略了小数点
- 省略了不必要的零（前面的或后面的）
- 大部分软件只输出变化 X 或 Y 资料

#### 省略小数点的规则

与其它字符相比小数点是最“不重用”的一个，特别是事先规定了它的位置时。实际上 Gerber 文件也的确是这么做的，在 Gerber 文件中您是很难看到一个小数点的。小数点的位置是人为地设置，由光绘机控制

软件来定位的。新手常犯的一个错误就是主观的用他们常用的资料格式来读新资料，甚至根本就不知道省略小数点这回事。

请看下面这段 Gerber 命令：

```
X00560Y00320D02*  
X00670Y00305D01*  
X00700Y00305D01*
```

假定这段命令是使用英寸作单位的。第一句的意思很容易理解——桌面移动到点（00560，00320）处，而不画线。可是新的问题又产生了，（00560，00320）到底表示的哪一点？是（5.6Inch, 3.2Inch），还是（0.56Inch, 0.32Inch），亦或是（0.056Inch, 0.032Inch）？谁也不能说清楚。但是如果设计者告诉您，在小数点前有几位、小数点后面有几位，那您就能快速的确定这些资料到底代表的是多少。比如，设计师告诉您这段 Gerber 文件是英制 2-3，那么您就能清楚地知道 00560 表示 0.56Inch (00.560), 00320 是 0.32Inch (00.320)。

因此：当别人给您文件时一定要问清楚资料格式；当您给别人文件时一定要告诉他文件格式。（当然如果是 RS274X 格式的话就没有下面的说法了。）

如果您的客户也不知道资料格式，客户给的又不是 RS274X 格式的话！嘿！您惨了。怎么办？猜吧——！小第把自己累计的经验做了一个总结欢迎大家来信共同交流交流！仔细听好了，下面告诉您一些猜格式的技巧！！

方法一：根据板面大小

硬质板中很少有板面尺寸大于 20Inch 的，而大于 20Inch X 20Inch 的是没有的。据此，如果您读出来的图形大于 20Inch，那就是小数点前的位数太多了。相反，如果您读出俩的图形都堆到原点附近，那十有八九是小数点后的位数太多了（也就是说，小数点前的位数太少了）。

这里需要注意的是，小数点前的位数加上小数点后的位数一定要等于 Gerber 文件中最长的数的位数，上例中就是 5（2+3=5）。

方法二：根据已知尺寸

如果您知道一些关于板子的尺寸，那就好办多了。您只要不停的试，大了就把小数点前的位数变小（小数点后的位数同时变大）；小了就把小数点后的位数变小（小数点前的位数同时变大），如果单位没有搞错，一两次就能正确了。如果您没有任何尺寸，那您只能找板子上的器件。有一些器件，如 DIP（双列直插集成电路）、PGA 封装和一些插座，它们引脚的中心距离是 0.1Inch (2.54mm)，根据这一点您也能大概地确定资料格式。

省略前面和后面的零

在 Gerber 文件中还有什么东西可以省略？很自然，谁都会想到那些在数学中被称为“无效零”的玩意。可是用什么规则？

我们再回头看上面的例子中第一行 X00560Y00320D02\*，现在我们把 00560 前面的零省略变成 560，那么根据客户告诉我们的资料格式是英制 2-3，那么我们就可以推断出 560 代表的资料是什么。因为是 2-3 制的，我们先保证小数点后面的三位，那 560 就变成.560,我想您应该知道.560 是什么意思，反正我是知道！

——这样处理方法就是省前零（Leading zero）。

下面我们就把上面的例子生成省前零，您能把它们试着恢复吗？。

不省零	省前零
X00560Y00320D02*	X560Y230D2*
X00670Y00305D01*	X670Y305D1*
X00700Y00305D01*	X700Y305D1*

现在我们来数数这两种格式的字节数，不省零占用 48 字节，省前零占用 33 字节。节约对当时节约打了 31.2%，而图形却是一样的。您瞧多好的主意，这对当时的打带机用的孔纸带是多么有效，多么的重要。

还有一种省零的方法，省去后面的无效零。也就是保留前面的无效零而去除后面的无效零，恢复时只要保证格式前面的位数，来确定小数点的位置。下面的例子说明了省后零（Trailing Zero）。

不省零	省后零
X00560Y00320D02*	X0056Y0032D2*
X00670Y00305D01*	X0067Y00305D1*
X00700Y00305D01*	X007Y00305D1*

除了这两种省零的方法，还有些软件喜欢把前后零都省去，这样一来就必须保留小数点。如果您的软件不支持小数点，那您就赶快找软件去编辑它们吧，或者去书店买一本 MS-OFFICE，我知道用 MS-WORD 和 MS-EXCEL 能把它们转换成您所需要的格式。

因此：当您把 GERBER 文件给别人时一定要告诉他是省前零还是省后零；当别人给您文件时一定要问清楚是省前零还是省后零。

如果您不知道是省前零，还是省后零，您也可以猜，而且这比猜格式容易多了。只要用字编辑软件打开它看一看，如果前面有零就有可能是省后零；如果后面有零就有可能是省前零。唯一要注意的是，有些软件在处理省前零时只把小数点前的零省掉，如 00.050 就成了 050,省后零也一样；而有些软件则是把前面的零都省略,如 00.050 就成了 50,省后零同样。这时就需要补零定小数点。

有样式（Modal）资料坐标



到现在为止，您已经知道省略小数点、省零。或许您认为您已经完全了解 Gerber 资料了，千万别自满。请您回顾一下光绘机的工作原理，您也许又会产生新的想法。光绘机的 X-Y 的移动是相互独立的，而且 Gerber 资料中也有许多点排在与 X 或 Y 平行的线上。说到这里，您也须明白还有一种方法可以压缩 Gerber 文件。

“为什么不让机器记住 X、Y 的数值，与下一个点比较，只输出变化的资料？”好办法！Gerber 资料格式定义者们也想到了这一点，也采用了这种方法，这就是有样式资料。

下面就是一段无样式数据与有样式数据的比较。

所有数据	有样式数据
X560Y230D2*	X560Y230D2*
X670Y305D1*	X670Y305D1*
X700Y305D1*	X700D1*

当机器执行完一句命令后它并没有把资料删除，再执行下一句时，它只是把有的资料填进去而生成一个新的坐标。如机器执行完第二句时，它的内存中的资料是 X-0.67, Y-0.305（假定格式是英制 2-3），在读入第三句时机器把 0.7 填进 X，Y 没有就跳过，那么新的资料就是 X-0.7, y-0.305。

如果您的设计软件在生成 Gerber 资料时有自动排序功能，那您使用这种资料格式会很有效果。同时它不象资料格式和省零方式那样必须知道，所有的光绘机及光绘处理软件都支持两种资料。

有样式命令

有样式资料是一种很好的方法，这种方法同样也适用于命令。比如说，您有一段连续的线条要画，那幺在 Gerber 中就表现为一长串以 D01\*结束的块（block），为什么不能把它们省略直到下一个不同的命令出现呢？当然可以，这种处理方法就是有样式命令方式。

D1 not modal	D1 modal
X560Y230D2*	X560Y230D2*
X670Y305D1*	X670Y305D1*
X700D1*	X700*
X730D1*	X730*
X760D1*	X760*
Y335D1*	Y335D1*

由上表看来，我们都希望所有命令都使用有样式命令。可是总有一两处不如意的地方，首先是闪烁命令 D3/D03，有许多光绘机非常的执着地希望在每一个闪烁命令后能看到 D3/D03。如 MDA 公司的 FIRE9000

## 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>