

项目3

PCB 设计

【项目目标】

- (1) 能根据要求绘制板框。
- (2) 能手工布线设计 PCB 双面板。
- (3) 能手工布线设计 PCB 单面板。
- (4) 能自动布线设计 PCB 双面板。
- (5) 能自动布线设计 PCB 单面板。
- (6) 能设置设计规则。
- (7) 能生成各种工艺文件。



任务 3-1
两级放大器
电路 PCB
设计

实训任务 3-1 两级放大器电路 PCB 设计——全手工设计双面电路板

【实训目标】

- (1) 了解各板层的意义。
- (2) 新建 PCB 文件。
- (3) 根据要求绘制单层板框。
- (4) 元器件布局,手工双面板布线。

【课时安排】

2 课时。

【任务情景描述】

如图 3-1 所示为两级放大电路原理图,下面以此为例讲解全手工绘制 PCB 双面板的方法。

两级放大电路 PCB 设计要求如下。

- (1) 使用双面电路板。
- (2) 电路板的板框尺寸大小为 1500mil×1200mil,并进行标注。

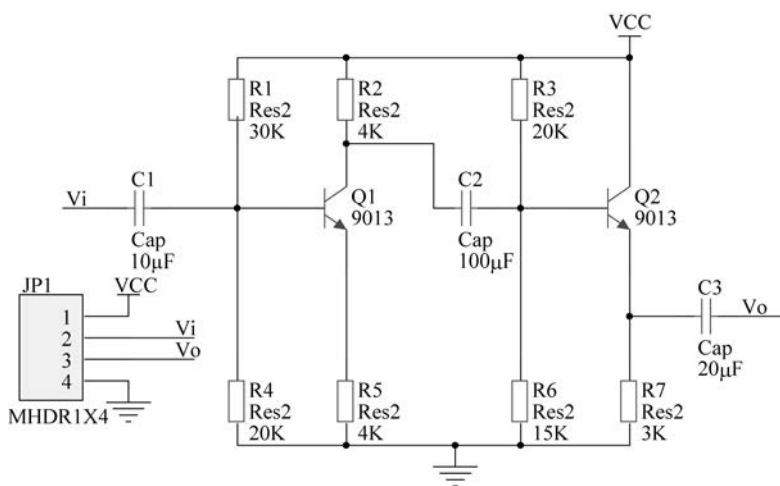


图 3-1 两级放大电路原理图

- (3) 电源和地线的铜膜走线线宽为 30mil，一般布线的宽度为 10mil。
- (4) 人工放置元器件封装，并排列整齐。
- (5) 人工连接铜膜走线，尽量不使用过孔，布线时考虑顶层走水平线，底层走垂直线。

【任务分析】

手工绘制电路板是十分耗时的，但是掌握手工绘制电路板的本领是非常必要的，这是绘制电路板的基础。无论多么好的设计电路板的软件，都需要手工布线对 PCB 进行干预。全手工绘制电路板需要掌握各种对象的放置、编辑和各种菜单命令的使用。本任务通过设计一个两级放大电路来熟练掌握手工绘制双面 PCB 的流程。涉及的主要知识点有 PCB 规划、元器件布局、手工布线、熟悉放置工具栏等。

全手工绘制电路板一般遵循以下步骤。

- (1) 启动 Altium Designer 21，新建项目，绘制原理图。
- (2) 建立新的电路板文件。
- (3) 在禁止布线层(Keep-Out Layer)定义电路板的板框尺寸。
- (4) 将元器件封装一个一个地放置到电路板图上，并排列整齐。
- (5) 用布线工具绘制导线，对于双面板，需要在绘制导线过程中切换电路板层。
- (6) 保存并输出打印。

【操作步骤】

1. 准备工作

新建项目、原理图文件、PCB 文件并绘制好原理图，所有文件全部归档在两级放大电路文件夹中。

进入 Altium Designer 21 主窗口，新建工程项目后，再执行菜单命令 File | New | PCB，系统自动产生一个 PCB 文件，默认文件名为 PCB1、PcbDoc，并进入 PCB 设计环境，PCB 设计环境与 Windows 资源管理器的风格类似，如图 3-2 所示。

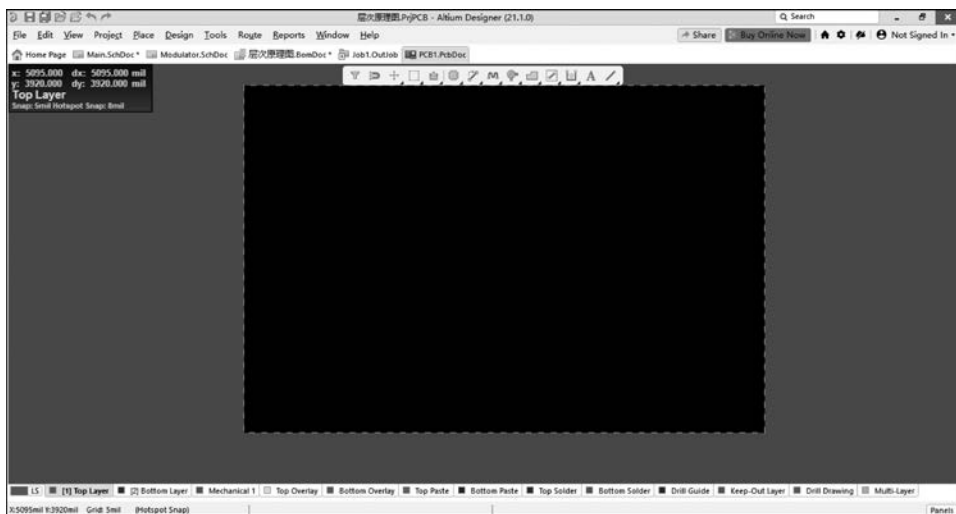


图 3-2 PCB 设计环境

1) 主菜单

PCB 编辑器的主菜单与原理图编辑器的主菜单基本相似,操作方法也类似,不同的是 PCB 编辑器提供了许多用于 PCB 编辑操作的功能选项。在绘制电路原理图时,主要是完成元器件的连接与属性编辑,而在进行 PCB 设计时主要是对元器件的封装、焊盘、过孔、导线进行操作编辑。

2) 工具栏

PCB 编辑器的工具栏主要有 PCB 标准工具栏、布线工具栏和实用工具栏等。其中,实用工具栏包括实用工具、调准工具、查找工具、放置工具、放置 ROOM 工具及网格工具 6 个工具。PCB 编辑器以图示的方式列出常用工具。这些常用工具都可以从主菜单栏中的下拉菜单里找到相应命令。执行菜单命令 View | Toolbars,可以打开或关闭相应的工具栏。

2. 规划电路板尺寸

规划电路板尺寸有 3 种方法:第 1 种方法采用 PCB 向导规划,此方法快捷,易于操作,是一种较为常用的方法;第 2 种方法为新建 PCB 文件后,在机械层手工绘制电路板边框,在禁止布线层手工绘制布线区,标注尺寸,该方法比较复杂,但灵活性较大,可以绘制较为特殊的电路板;第 3 种方法是导入由 AutoCAD 绘制的 DXF 或 DWG 文件。因第 2 种方法灵活性大,故本电路板采用第 2 种方法。

在打开的 PCB 文件中,选择 Keep-Out Layer(禁止布线层),执行菜单命令 Edit | Origin | Set,或者单击布线工具栏的  按钮,在 PCB 编辑区任意处单击,作为 PCB 板框的相对原点。设计者可利用坐标关系来绘制 PCB 电路板框。执行菜单命令的画线命令 Place | Keepout | Track,切换到英文输入状态,按住 J+L 快捷键,系统弹出 Jump To Location 对话框,如图 3-3 所示。在图 3-3 中输入第一个坐标点(0,0);三次回车后输入第二个坐标点(1500,0);三次回车后输入第三个坐标点(1500,1200);三次回车后输入第四个坐标点(0,1200);最后回

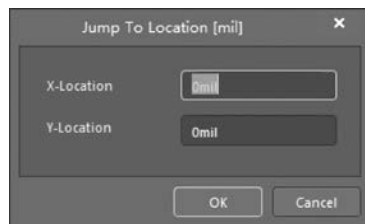


图 3-3 跳转位置对话框

到最初原点(0,0)。这样就绘制出一个 1500mil×1200mil 的板框,如图 3-4 所示。单击绘图工具栏的  按钮,可以对板框进行标注。绘制并已标注的板框如图 3-5 所示。通过 Keep-Out Layer 绘制的框的大小即为电路板的大小,是电路板的电气外形;在 Mechanical Layer 中定义的是电路板的机械外形尺寸。

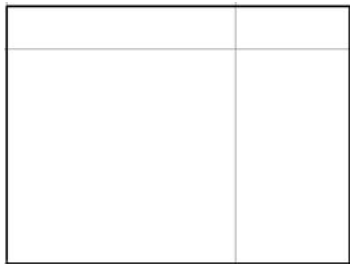


图 3-4 通过 Keep-Out Layer 绘制的板框

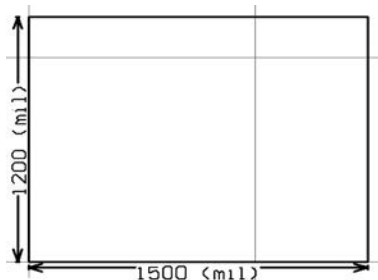


图 3-5 对板框进行标注

3. 绘制 PCB

确定元器件封装虽然是在原理图绘制过程中完成的,但对于 PCB 的制作至关重要,PCB 中载入的 PCB 元器件就是根据原理图中确定的引脚封装,从封装库中调出而形成的,因此原理图元器件、原理图元器件的连接关系和 PCB 的引脚封装、PCB 板铜箔走线是一一对应的,只是两者的表达方式和侧重点不同,原理图采用“原理图符号”和清晰明了的连线表达电路的工作原理和信号处理过程,重点在于表达电路的结构、功能,便于电路讲解和分析。而 PCB 是通过“引脚封装”和实际铜箔导线实现原理图的具体功能,重点在于元器件的安装、焊接、调试等,所以在由原理图绘制逐步转入 PCB 级设计时,必须以原理图为依据,结合原理图综合考虑 PCB 元器件的布局和布线。

1) 放置元器件封装

设置好板框尺寸后,把元器件封装直接放置在 PCB 上。两级放大电路的元器件参数如表 3-1 所示。

表 3-1 两级放大电路的元器件参数表

元器件名称	标号	封装	元器件所在库	说明
RES	R1~R7	AXIAL0.4	Miscellaneous Devices, IntLib	电阻
CAP	C1~C3	RAD0.1	Miscellaneous Devices, IntLib	电容
NPN	Q1~Q2	BCY-W3/D4.7	Miscellaneous Devices, IntLib	三极管
MHDR1X4	JP1	HDR1X4	Miscellaneous Connectors, IntLib	接插件

对照两级放大电路原理图,单击 Components 面板,选择 Miscellaneous Devices, IntLib 元器件库,可以在库面板中直接选取电阻元件,也可以选中 Footprints 选项,选取电阻封装 AXIAL0.4,电容封装 RAD0.1。放置到 PCB 编辑区时系统会弹出如图 3-6 所示对话框。

按 Esc 键可退出元器件封装的放置。所有元器件封装放置完成后保存文档,进入下一步设计。

2) 元器件布局

依照图 3-7 对元器件进行布局,元器件排列整齐,接插件 JP1 置于 PCB 左上侧。

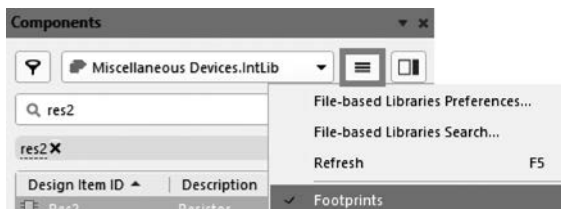


图 3-6 放置元器件对话框

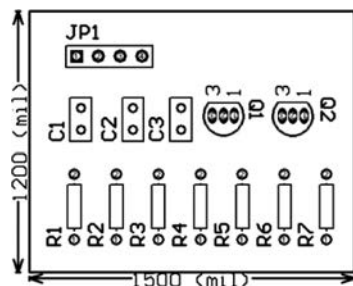


图 3-7 元器件布局

3) 手工布线

手工布线需要执行 Place | Line 菜单命令或者单击 Place 工具栏上的  按钮,如图 3-8 所示。右击常用工具栏图标下的黑三角形,即可展开相应属性的工具。



图 3-8 常用工具栏

首先单击 Place 工具栏上的  按钮,光标变成“十”字形状。然后将光标放置到铜膜走线的起点,单击,就可以拉出一根线,若需要拐弯就依次单击,结束画线只需要单击一次,再右击一次。若在走线过程中按空格键,则可以改变走线方式。

在绘制铜膜走线时,如果需要拐弯,单击确定铜膜走线的拐弯位置,同时按 Shift+Space 组合键切换选择铜膜走线的拐弯模式。Altium Designer 21 提供 5 种拐弯模式,分别是直线 45°、弧线 45°、直线 90°、弧线 90°和任意斜线,具体采用什么走线方式,设计者可以根据实际需要决定,通常建议使用直线 45°的走线方式。

布线的时候,可以通过小键盘上的“+”“-”和“*”符号切换板层,“+”“-”是在当前所有板层中依次切换,“*”仅在信号层中切换。当更换板层后需要手工放置过孔。对照原理图,直到把所有的元器件引脚都连接上为止,这项工作需要细心,并反复检查。

双击电源线和接地线,系统弹出对话框,在Width选项框中输入30mil,对电源线和接地线进行加粗。

设置导线的操作都可以在导线属性对话框中完成,如图 3-9 所示。

完成手工布线的 PCB 图如图 3-10 所示。

4) 3D 效果图

执行 View | 3D Layout Mode 命令,系统弹出 3D 效果图,如图 3-11 所示。设计者可以

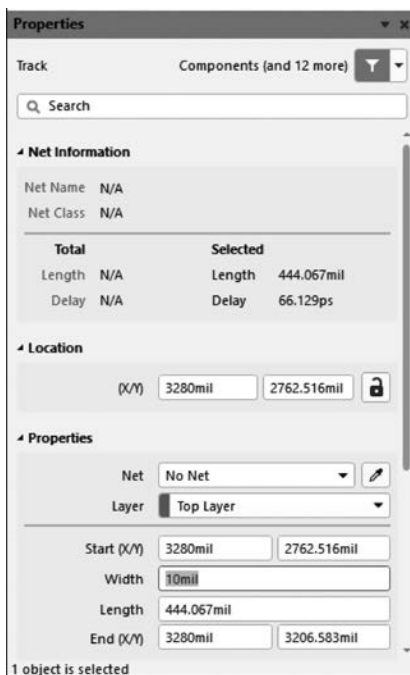


图 3-9 导线属性设置

根据 3D 效果图检查元器件封装是否正确,元器件之间的安装是否有干扰、是否合理等。

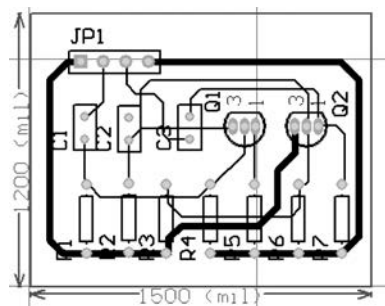


图 3-10 完成手工布线的 PCB 图

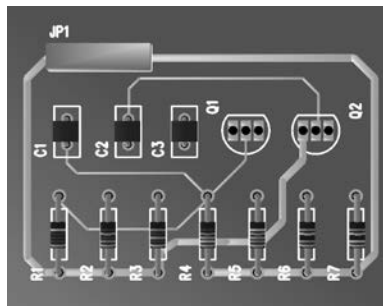


图 3-11 3D 效果图

【思考题】

- (1) PCB 的含义是什么? PCB 是做什么用的?
- (2) PCB 是如何演变的?
- (3) 请简述 PCB 的制作流程。
- (4) 现在国内比较流行的制作印制电路板的软件有哪些?
- (5) 如何成为一名优秀的 PCB LAYOUT(印制电路板版图设计)工程师?

【能力进阶之实战演练】

(1) 如图 3-12 所示为时基 555 单稳态多谐振荡电路,请全手工布线绘制双面板,电路板框尺寸大小为 2200mil×2000mil,并进行标注。电源和地线的线宽为 40mil,一般布线的宽度为 10mil。

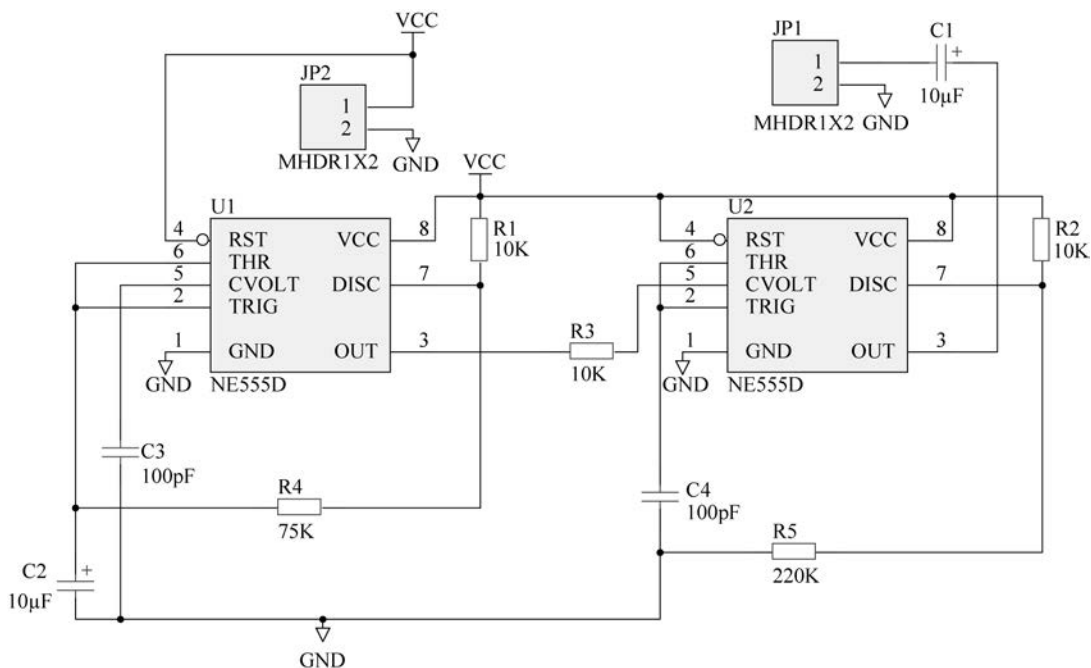


图 3-12 时基 555 单稳态多谐振荡电路

(2) 如图 3-13 所示为占空比可调电路,请全手工布线,绘制双面板,电路板板框尺寸大小为 2500mil×2000mil,并进行标注。电源和地线的线宽为 30mil,一般布线的宽度为 10mil。

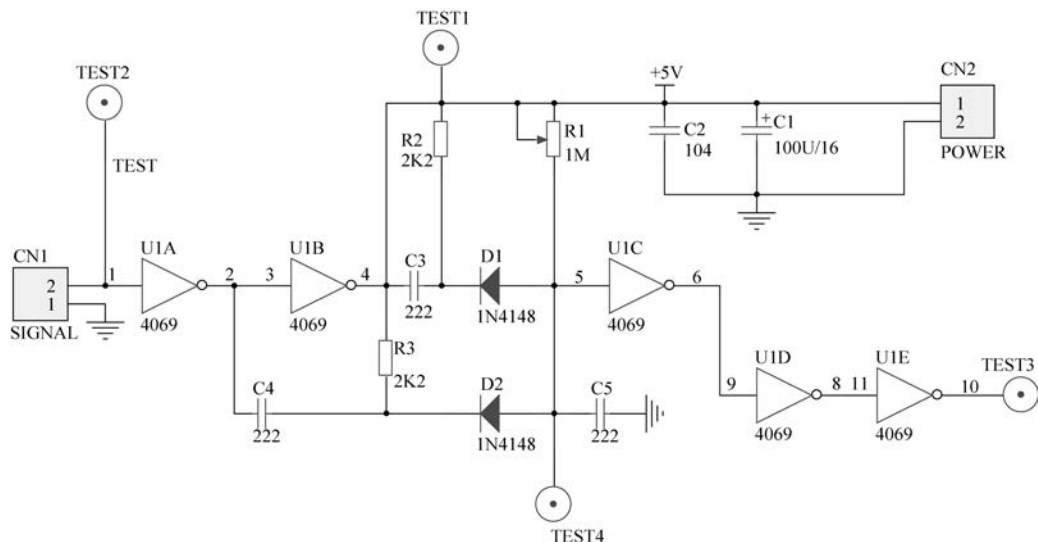


图 3-13 占空比可调电路

【相关知识】

知识点 1: 印制电路板的基本概念

印制电路板是用印制的方法制成导电路线和元器件封装,它的主要功能是实现电子元器件的固定安装以及引脚之间的电气连接,从而实现电器的各种特定功能。制作正确、可靠、美观的印制电路板是 PCB 设计的最终目的。印制电路板是电子元器件装载的基板,它的生产涉及电子、机械、化工等众多领域。印制电路板要提供元器件安装所需要的封装,要有实现元器件引脚电气连接的导线,要保证电路设计所要求的电气特性,以及为元器件装配、维修提供识别字符和图形,所以它的结构较为复杂,制作工序较为烦琐,而了解印制电路板的相关概念是成功制作电路板的前提和基础。下面详细介绍印制电路板的几个基本知识点。

1. 印制电路板的结构与分类

为了实现元器件的安装和引脚连接,设计者必须在电路板上按元器件引脚的距离和大小钻孔,同时还必须在钻孔的周围留出焊接引脚的焊盘,为了实现元器件引脚的电气连接,在有电气连接引脚的焊盘之间还必须覆盖一层导电能力较强的铜膜走线,同时为了防止铜膜走线在长期的恶劣环境中使用而氧化,减少焊接、调试时短路的可能性,在铜膜走线上涂抹了一层绿色阻焊漆,以及表示元器件安装位置的元器件标号。

习惯上,设计者根据导电层数不同,印制电路板可分为单面板(Single Layer)、双面板(Double Layer)、多层板(Multi-Layer)等。

(1) 单面板:单面板单面敷铜,即只有一个信号层,因此只能利用它敷了铜的一面设计电路铜膜走线和元器件的焊接。由于单面板的材料便宜,工艺简单,加工时间较短,制作成

本最低,因而很多小电器的电路板都采用单面板。单面板的结构如图 3-14 所示。

单面板上敷铜的一面主要包括固定、连接元器件引脚的焊盘和实现元器件引脚互连的铜膜走线,该面称为焊锡面;没有敷铜的一面只印上没有电气特性的元器件型号和参数等,主要用于安装板、调试和维修元器件,又称为元器件面。

由于单面板走线只能在一面上进行,因此,它的设计往往比双面板或多层板困难得多。

(2) 双面板:双面板包括顶层(Top Layer)和底层(Bottom Layer),顶层一般为元器件面,底层一般为焊锡面,双面板的上下两面都可以敷铜,都可以布线焊接,中间为一层绝缘层,用于隔离布线层,是最常用的一种电路板。人们还制作了金属化过孔来解决不同层面导线的连通问题,与单面板相比,双面板极大地提高了电路板的元器件密度和布线密度。双面板的结构如图 3-15 所示。

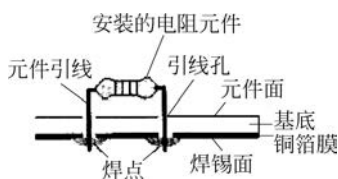


图 3-14 单面板的结构

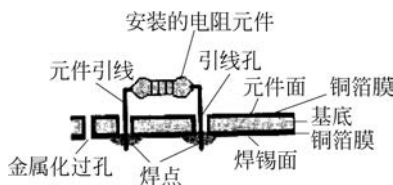


图 3-15 双面板的结构

双面板的电路一般比单面板的电路复杂,制作成本稍高,但布线比较容易,是制作电路板比较理想的选择。随着工艺成熟、技术的进步,双面板的制作成本也有了大幅度的下降。

(3) 多层板:由于电子线路的元器件密集安装、抗干扰和布线等特殊要求,一些较新的电子产品中所用的电路板不仅上下两面可供走线,在电路板的中间还设有能被特殊加工的夹层铜箔。如果在双面板的顶层和底层之间加上其他工作层(中间层、内部电源或接地层等),即构成了多层板。多层板结构复杂,它由电气导电层和绝缘材料层交替黏合而成,成本较高,导电层数目一般为 4、6、8 等,且中间层(即内电层)一般连接元器件引脚数目最多的电源和接地网络,层间的电气连接同样利用层间的金属化过孔实现。在多层板中,可充分利用电路板多层层叠结构解决高频电路布线时的电磁干扰、屏蔽问题,同时由于内电层解决了电源和地网络的大量连线,使布线层面的连线急剧减少,因此,电路板可靠性高,面积小,在计算机主板、内存条、优盘、MP3 等产品上得到广泛的使用。这些层因加工相对较困难并且大多用于设置走线较为简单的电源布线层,中间层常用大面积填充的办法来布线。多层板的结构如图 3-16 所示。



图 3-16 多层板的结构

多层板的电路比双面板的电路复杂,制作成本最高。随着电子技术的高速发展,电子产品越来越精密,电路板也就越来越复杂,多层电路板的应用也越来越广泛。

初学者可能会以为:电路板的板层越多越复杂,单面板设计最简单。其实不然,对于一张复杂的电路图,单面板只能在一面布线,布线时无法交叉穿越,电路的布通率往往不高。双面板可以在正反两面布线,在一面不通时还可以通过过孔转换到另一面布线。只要给定足够的面积,双面板一般情况下都有较高的布通率,能够满足电路的要求。多层板由于在板层中间加入了单独的电源层和地线层,电路的布通率会进一步提高,而且抗干扰能力也随之提高。一般的电路系统设计用双面板和四层板即可满足设计需要,只有在较高级电路设计中,或者有特殊需要,比如对抗高频干扰要求很严格情况下才使用六层及六层以上的多层板。

多层板制作时是一层一层压合的,所以层数越多,设计或制作过程将越复杂,设计时间与成本也将大大提高。多层板的中间层(Mid Layer)和内层(Internal Plane)是不相同的两个概念,中间层是用于布线的中间板层,该层均布的是铜膜走线,而内层主要用于做电源层或者地线层,由大块的铜膜所构成,其剖面图如图 3-17 所示。

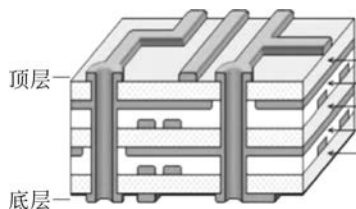


图 3-17 多层板剖面图

在图 3-17 中的多层板共有 6 层设计,最上面为顶层(Top Layer);最下为底层(Bottom Layer);中间 4 层中有两层内层,即 Internal Plane1 和 Internal Plane2,用于电源层;两层中间层,为 Mid Layer1 和 Mid Layer2,用于布铜膜走线。

2. 电路板材料

敷以金属箔的绝缘板称为覆箔板,其中敷以铜箔制成的敷箔板称为覆铜板,它是用腐蚀铜箔法制作印制电路板的主要材料。覆铜板的种类很多,按照基板材料分,可分为纸基板覆铜板、玻璃布板覆铜板和合成纤维板覆铜板等;按照树脂胶黏剂分,可分为酚醛覆铜板、环氧覆铜板、聚酯覆铜板等;按照结构分,可分为单面覆铜板、双面覆铜板和软性覆铜板等。现在用得比较多的是环氧覆铜板。

3. 层

印制电路板的铜箔导线是在一层(或多层)覆着整面铜箔的绝缘基板上通过化学反应腐蚀出来的,元器件标号和参数是制作完电路板后印制上去的,因此在加工、印制实际电路板过程中所需要的板面信息,在 Altium Designer 21 的 PCB 编辑器中都有一个独立的层面(Layers)与之相对应,电路板设计者通过层面给电路板厂家提供制作该板所需的印制参数,因此理解层面对于设计印制电路板至关重要,只有充分理解各个板层的物理作用以及它和 Altium Designer 21 中层面对应关系,才能更好地利用 PCB 编辑器进行电路板设计。

(1) 顶层(Top Layer): 信号层,一般为元器件面。主要用在双面板、多层板中制作顶层铜箔导线,在实际电路板中又称为元器件面,元器件引脚安插在本层面焊孔中,焊接在底面焊盘上。由于在双面板、多层板顶层可以布线,因此为了安装和维修方便,表面贴装元器件尽可能安装于顶层。

(2) 底层(Bottom Layer): 信号层,一般为焊接面。主要用于制作底层铜箔导线,它是

单面板唯一的布线层,也是双面板和多面板的主要布线层,注意单面板只使用底层,即使电路中有表面贴装元器件也只能安装于底层。

(3) 中间信号层(Mid1~Mid14): 在一般电路板中较少采用,一般只有在5层以上较为复杂的电路板中才采用。

(4) 内电层(Internal Plane): 主要用于放置电源和地线,PCB编辑器可以支持16个内部电源/接地层。因为在各种电路中,电源和地线所接的元器件引脚数是最多的,所以在多层板中,可充分利用内部电源/接地层将大量的接电源(或接地)的元器件引脚通过元器件焊盘或过孔直接与电源(或地线)相连,从而极大地减少顶层和底层电源/地线的连线长度。

(5) 机械层(Mechanical Layer): 主要为电路板厂家制作电路板时提供所需的加工尺寸信息,如电路板边框尺寸、固定孔、对准孔以及大型元器件或散热片的安装孔等尺寸标注信息,机械层共有16个,这些层在打印和产生底片文件时是可选的。机械层没有电气特性,在实际电路板中也没有实际的对象与其对应,是PCB编辑器便于电路板厂家规划尺寸制板而设置的,属于逻辑层(即在实际电路板中不存在实际的物理层与其相对应)。

(6) 阻焊层(Solder Mask): 通常的PCB包括顶层、底层和中间层,层与层之间是绝缘层,它的材料要求耐热性和绝缘性好。在PCB布上铜膜走线后,还要在顶层和底层上印制一层阻焊层,它是一种特殊的化学物质,通常为绿色。该层不粘焊锡,从而避免相邻导线波峰焊接时短路,还可防止电路板在恶劣的环境中长期使用氧化腐蚀。阻焊层将铜膜走线覆盖住,防止铜膜过快地在空气中氧化,但是需要在焊点处留出位置,并不覆盖焊点。对于双面板或者多层板,它和信号层相对应出现,也分为顶面阻焊层(Top Solder Mask)和底面阻焊层(Bottom Solder Mask)。

(7) 焊锡膏层(Paste Mask Layer): 贴片元器件的安装方式比传统穿插式元器件的安装方式要复杂很多,该安装方式必须包括以下几个过程:刮锡膏→贴片→回流焊,在第一步刮锡膏时,就需要一块掩模板,其上就有许多和贴片元器件焊盘相对应的方形小孔,将该掩模板放在对应的贴片元器件封装焊盘上,将锡膏通过掩模板方形小孔均匀涂覆在对应的焊盘上,与掩模板相对应的就是焊锡膏层。

(8) 丝印层(Silkscreen Overlay): 电路板制作最后阶段,在印制电路板的上下两表面需要印上必要的标志图案和文字代号等,例如元器件标号和标称值、元器件轮廓形状和厂家标志、版次和生产日期等,这就称为丝印层。多层板的丝印层分顶面丝印层(Top Overlay)和底面丝印层(Bottom Overlay)两种,一般尽量使用Top Overlay,只有维修率较高的电路板或底层装配有贴片元器件的电路板中,才使用底面丝印层以便于维修人员查看电路(如电视机、显示器电路板等)。丝印层可以方便将来对电路进行焊接和查错,方便对电路板进行安装和维修等。不少初学者在设计丝印层的有关内容时,只注意文字符号放置得整齐美观,而忽略了实际制出的PCB效果。在他们设计的印制板上,字符不是被元器件挡住了,就是侵入了阻焊层而被抹除了,还有把元器件标号打在相邻元器件上,如此种种设计都会给装配和维修带来极大的不便。正确的丝印层字符布置原则是:不出歧义,见缝插针,美观大方。

(9) 禁止布线层(Keep-Out Layer): 主要用于定义电路板的边框,或定义电路板中不能有铜箔导线穿越的区域。禁止布线层在实际电路板中也没有实际的层面对象与其对应,属于PCB编辑器的逻辑层,它起着规范信号层布线的目的,即在该层中绘制的对象(如导线),