

附录一 使用 CAD 软件辅助电路板设计制作的基本方法

一、电路原理图的设计方法

使用 CAD 软件辅助电路板设计，首先要根据设计目的，选择主要元件，画出草图，然后上机操作。

原理图的基本元素包括元件、连线、结点等。元件的基本属性包括元件的名称、元件的封装和元件的标号（Designator）等。软件设计者将常用的元件组织在若干个库中，如 DEVICE 库包括常用的分离元件、TTL 库包括 TTL 系列的集成电路等。库中的元件包括元件的基本信息和管脚的说明及逻辑图符号，用户也可以自己定义库中没有的元件。管脚之间的电气连接是通过连线表示的。在原理图中，交叉的线是在逻辑和电气上无关的，除非使用结点（Junction）在交叉点连接。

用户在设计时在选定的图纸上按照设计放置（Place）元件和连线。放置元件时用户要先选定需要的库，然后在图纸上放置需要的元件。用户可以自由移动元件的位置和旋转。元件之间的连线是通过选择布线工具（Wiring Toolbar），使用鼠标或键盘在电气上连接的两个管脚间连线。

在原理图画完之后要生成网络（Netlist）文件，以完成后续的操作。网络文件中包括所有使用的元件的说明和所有网络的说明。一个网络指在电气上彼此互连的所有管脚和连线。例如所有连接到一起的地线构成地线网络等。

软件一般还提供其他一些工具辅助设计和简化工作。如可以给一个网络命名，所有在图上没有连到一起，但有相同的网络名称的元素属于一个网络，就如同它们之间有线连接一样。还可以对设计按照通用的设计规范进行检查等。

二、原理图辅助设计软件的基本操作

PROTEL FOR WINDOWS SCHEMATIC CAPTURE 1.5（以下简称 SCHEMATIC EDITOR）是由 Protel 公司设计的原理图辅助设计软件。是在 Protel For Dos 3.XX(3.12,3.16)基础上开发的，支持 Windows 环境和图形界面，增强了其中的一些功能

使用 SCHEMATIC EDITOR 的设计方法与上节的说明类似，界面的使用可以通过鼠标和菜单项操作，也可使用键盘辅助操作。下面的说明中以菜单为主。

软件的主界面左半部称为元件浏览器（Component Browser），在此处选择需要的元件库和元件。右面是设计图纸，可以在菜单项 Options->Sheets 中改变图纸的大小等选项。可以通过 Zoom 菜单改变图纸显示比例，也可使用快捷键 Page Up（放大）Page Down（缩小）。

改变元件库通过按元件浏览器上方的 Add/Remove 按钮执行，同时可以有多个库被使用。常用的库有 DEVICE.LIB（常用分离器件库）、D_TTL.LIB（与 DOS 软件兼容的 TTL 集成电路库）、D_INTEL.LIB（与 DOS 软件兼容的 INTEL 芯片集成电路库）等。

放置元件使用菜单中的 Place->Part 执行，也可直接在元件浏览器的 Components In Library 列表框选择。被选择的零件必须包括在当前库中。

元件放置后可以使用鼠标单击选中，然后用鼠标拖动来移动位置，也可在选中状态按空格键旋转 90 度，按 Y 键作 Y 轴映射，按 X 键作 X 轴映射。双击元件可以编辑元件属性。

使用 Options->Wiring Toolbar 开启连线工具箱，左上角是普通连线，选择此工具后，就可以用鼠标在图纸连线。第一次左键确定连线起始点，以后的左键确定连线的转折点或结束点，第一次右键结束此条线，第二次右键结束连线状态。**要特别注意连线与其要连接的管脚必须是点与点对接，而不能使连线覆盖管脚。**

在连线工具箱中还有 Junction 工具用来放置结点。此工具箱中还有电源工具，用来在图纸上放置电源部件（各种电压的电源和地）。可以选择几种符号之一，注意符号不表明其含义和电气性能，必须在其 Net 中指定是 VCC 或 GND 或其他。

删除一个元素的方法是使用菜单中的 Edit->Delete 选项，然后单击此元素，但要注意的是要在删除后按鼠标右键结束此状态（这一点在许多操作中都类似）。或者在选中一个元素后按 Del 键。每一步操作后可以使用 Edit->Undo 来取消。

可以使用 Edit->Select 来选中一个区域或一个网络。选中的元素使用其他的颜色来标志。

使用 File->Annotate 来对图中的所有元件进行编号，在放置元件时缺省为 U? 的形式，此命令将? 用排序好的数字来替换。

使用 File->Report 产生各种报告，常用的有：Bill Of Material 产生图纸中使用的所有元件列表报告；Electrical Rules Check 产生电气规范检查报告。

使用 File->Create Netlist 生成此图纸的 Netlist 文件，供以后使用。

三、印刷电路板图设计的基本概念

在电路原理图设计完成后，为制作电路板，要进行印刷电路板（PCB）图的设计。

制作印刷电路板中涉及的基本概念有层（Layer）、封装（Pattern）、焊点（Pad）、过孔（Via）、线（Track）。

电路板上按照不同用途分为若干层，层与层之间互不交叉。根据可以布线的层数可以分为单面板，双面板和多层板。常用的双面板包括 Top Layer（正面）、Bottom Layer（背面）、Top Overlay（正面印字面）和 Keep Out Layer（边界轮廓）等。

PCB 图中也存在称为元件（Component）的概念，但此概念与原理图中确定电路性能的含义是完全不一样的，为避免造成误解，在 PCB 图中改称为封装。封装是指元件的几何尺寸和物理规格是如何定义的。包括元件的大小，管脚次序，管脚的大小和管脚间的距离等数据。不同的电路器件可以有相同的封装，同一种器件生产厂商也可能根据不同需要生产不同封装的产品。在软件中将常用的封装组织为库，用户也可以根据自己的需要手工编辑或增删封装。实验中常用元件的封装可以在附录五中找到。

焊点是用来插接元件的孔，也就是元件的各个管脚在板上的几何位置；过孔是连接不同面之间走线的桥梁。焊点和过孔的属性包括大小，形状（圆、正方形、长方形）和内径。

由原理图制作 PCB 图实际上是将原理图的元件按照其封装排列在实际尺寸的电路板上, 然后按照其网络结构进行布线。当然, 在电路板上, 同一层交叉的线就是连在一起的。为使所有的线不相交叉, 对于复杂的电路板, 需要有多层走线 (目前最多可达 10 余层), 在多层间用过孔连接。这个如何安排走线和过孔的过程称为布线 (Route)。

设计 PCB 板的过程包括指定板的轮廓、读取网络文件、元件布局、布线、反复调整 and 检查几个步骤。其中反复的阶段是布局和布线。布局是指元件的位置排放方式, 它是布线的基础; 布线是在已排放好的布局上按照连线网络连接管脚。这两个阶段实质上是将一个图在一个或多个面上无交叉地重新排放的拓扑过程。对于复杂的电路板, 完全由人工进行布线是极其繁琐困难和容易出错的, CAD 软件在这一方面可以辅助人的工作, 它可以根据网络和元件布局自动布线 (Auto Route)。自动布线虽然可以减轻人的工作量, 但由于算法的限制, 也有一些缺点, 如不一定完全布通、有些线不是很合理、不能通过调整布局来布线等, 因此仍然需要人工调节。目前有些软件也支持自动布局。具体的执行步骤参看下一节。

四、印刷电路板图辅助设计软件的操作

PROTEL FOR WINDOWS PCB DESIGNER 1.0 (以下简称 PCB DESIGNER) 是与 SCHEMATIC EDITOR 配套的产品, 可以用来完成印刷电路板图的辅助设计。下面根据上一节所说的流程来介绍此软件的使用, 首先说明常用的操作。

在电路板的设计和制作过程中, 一般使用英制长度单位如英寸, 换算关系为 1 英寸=2.54 厘米。在使用中, 英寸的单位比较大, 常用 mil 作单位, 换算为 1 英寸=1000mil。如我们常见的双列直插芯片的相邻两管脚间的中心距为 50mil, 即 1.27 毫米。

在 PCB DESIGNER 中可以使用不同颜色同时显示多个 Layer, 在窗口下方的状态栏中显示当前光标的位置 (以 mil 为单位), 中间的列表框可以选择当前有效的层, 右方是当前焊点的属性。

图纸显示比例的调节与 SCHEMATIC EDITOR 类似。手工放置封装、连线、焊点和过孔可以通过菜单命令 Edit->Place 中的选择完成, 也可以使用工具栏中的相应工具。移动一个元素通过 Edit->Move 命令完成。

在设计流程中, 首先使用 File->New 命令创建一个空白的图纸, 一般这个图纸的显示比例比较大, 要调整到适当的大小和位置。

根据需要在 Keep Out Layer 划出封闭的印刷电路板的几何形状和尺寸。然后使用 Netlist->Load 调出由原理图生成的网络文件, 此操作系统将给出完成信息, 一般的出错原因是由于在原理图中没有指定元件的封装或指定的封装没有找到等。如果是这种错误要检查原理图。

网络文件调入后, 图纸上排列了电路中的所有元件 (其封装), 元件间的连线使用虚线表示 (称为 rats nest)。下一步进行布局, 即将每个元件放到合适的位置, 放置的依据首先要考虑实际制作的需求 (如电源的位置等), 二是要考虑布线时的方便。可以手工移动元件, 也可以通过命令 Auto->Auto Place 来自动布局。总的原则和要求就是在允许的尺寸下将各个元件分开, 并将连线较多的元件集中在一起。

布局完成后开始准备自动布线。先进行自动布线的设置, 进入 Auto->Setup Auto Route 对话框中, 确定电路板的布线面 (我们常用两面) 已被选中 (缺省为

正面布竖直线，背面布水平线)，其他层已被选为不使用。在 **Default Variables** 区中设定布线网格(缺省为 25mil)、线宽(缺省为 12mil)，过孔尺寸(缺省为 50mil)。在 **Routing Passes** 区中指定附加的布线算法，常用选项的有预布线 (**Pre-Router**)：它检查图纸中已有的连线，如果它符合网络中的某根线，认为已经布好。在 **Advanced** 区中的 **Maze** 是标准的布线算法，其中的 **Passes** 决定计算的次数，计算次数越多，布线成功率越大，当然计算时间也越长。

设置好布线参数后，使用 **Auto->Auto Route->All** 开始对整个网络进行布线，屏幕出现一个对话框，表示当前的状况。

自动布线完成后已布通网络的 **Rats nest** 消失。如果仍有未布通的网络，需要根据情况进行重新布局或手工布线。

布线完全结束后，可以使用 **Netlist->Clearance Check** 检查线和焊点间是否有间距过近等情况（尤其是有手工布线时）。然后使用 **Netlist->Generate** 根据实际物理连线生成 PCB 图的网络文件；在 **SCHEMATIC EDITOR** 的 **File->Report->Netlist Compare** 中可以比较两个网络是否完全一致。最后输出图纸，或直接将软盘交给制版厂家完成电路板制作。