

第 1 章 电路设计与制作起步

欢迎进入电路设计与制作的世界。一个有头脑的电路设计者，一套完备的电路仿真与设计软件，一套硬件电路制作所需的仪器、工具和器件是电路设计与制作的 3 个基本要素。一块制作完成并调试成功的电路板，哪怕其功能很简单也会是电路设计者手中最值得欣赏的成果。

学习目标：

- ◇ 熟悉电路设计的一般性过程。
- ◇ 初步学习电路仿真与设计软件。
- ◇ 学习电路板的设计与制作过程。
- ◇ 了解电路的调试。

1.1 电路设计与电路图

电路设计前奏 电路设计 手工绘制电路图

电路，就是由若干相互连接、相互作用的基本电子器件组成的具有特定功能的电子系统。一支发光二极管、一个电池和一个开关组成了世界上最简单的电路，如图 1-1 所示。

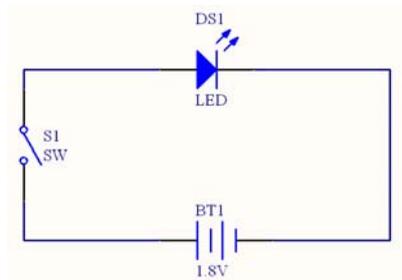


图 1-1 世界上最简单的电路

虽然图 1-1 所示的电路只能作为小学生的科技实验，但它却揭示了电路的 3 个要素——基本器件、相互连接与实现特定功能。图 1-1 所示的功能很简单，就是在开关 S1 闭合时，发光二极管 DS1 发光，反之则熄灭。这样简单的电路也是小学生们设计的成果，如果他们把设计的思路用电路图的形式绘制下来，那么他们就是一名“小电路设计师”了。

接下来，我们开始学习电路设计的深入知识。

1.1.1 电路设计前奏

在进行电路设计之前，十分重要的一点就是对电路的功能进行规划。也就是说，先不

去理会电路的复杂性和电路形式、电子器件的选择等问题，而对电路系统所要完成的功能进行一个详细而清晰的设计。举一个例子，在采集声音信号的过程中，我们只关心低频的声音信号，而高频噪声的存在会影响分析的效果。这时，可以设计一个低通滤波器。该滤波器所要实现的完整功能如下所示：

- ◇ 截止频率为 1.5kHz。
- ◇ 增益为 20dB。

虽然只有简单的两点功能，但这却是着手进行该电路设计和电路板制作加工的指导思想。如图 1-2 所示，用方框代表了未来将要设计的电路，而电路的输入输出信号是已知的。这些方框还需要进一步的设计，所以它现在只是一个“黑匣子”。

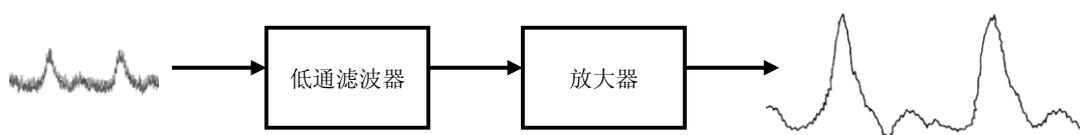


图 1-2 低通滤波器的功能框图

1.1.2 电路设计

电路设计是一项需要综合思维能力的工作。对于初学者来说，想迅速成为电路设计的高手就必须从一个个基本的、简单的电路入手，对这些电路的原理和电路形式有较好的掌握。这样，在复杂电子系统的电路设计过程中才会做到有的放矢、游刃有余。

目前，电路的种类主要有以下 3 种：

- ◇ 模拟电路。
- ◇ 数字电路。
- ◇ 模数混合电路。

模拟电路包括放大器、振荡器、滤波器、信号运算与处理电路、信号发生器等；数字电路包括逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、存储器、可编程逻辑器件、A/D 和 D/A 器件等。但是，单纯使用模拟电路或数字电路的场合已经不多了，比如在单片机、DSP 等系统中，有机地集合了数字与模拟器件。典型的例子还有电源电路和电子通信电路，其中由数字 IC 和电容、电感、电阻等外围器件组成的电路解决了越来越多的工程实际问题。

所以，要想成为一名熟练的、有经验的电路设计师，需要经过长时间的电路知识的积累。如果读者感觉个人能力有限，可以选择一块自己感兴趣的领域，比如滤波器或 CPLD 等的一个方向进行深入而系统的研究，同时兼顾了解其他方面的电路就可以了。一些有经验的老工程师可能对模拟、数字电路很熟悉，原因是模拟电路的发展伴随着他们的成长；此外，年轻一些的设计师们可能对单片机控制电路轻车熟路，因为单片机在 20 世纪 80 年代后蓬勃发展；而有一批更年轻的电子设计师，他们很容易就驾驭 DSP 系统和嵌入式系统，这是因为 20 世纪 90 年代后，随着计算机的普及和编程技术的发展，电路的功能被极大地复杂化和可控化，年轻一代对以往电路就是硬件的概念已经不再满足，他们希望能在一块

PCB 板上随着人的意志做一些更灵活的事情。

从图 1-3 所示的电子技术的发展史中，不但可以了解各种电路的出现和发展时期，还可以根据个人的喜好，选择研究方向。

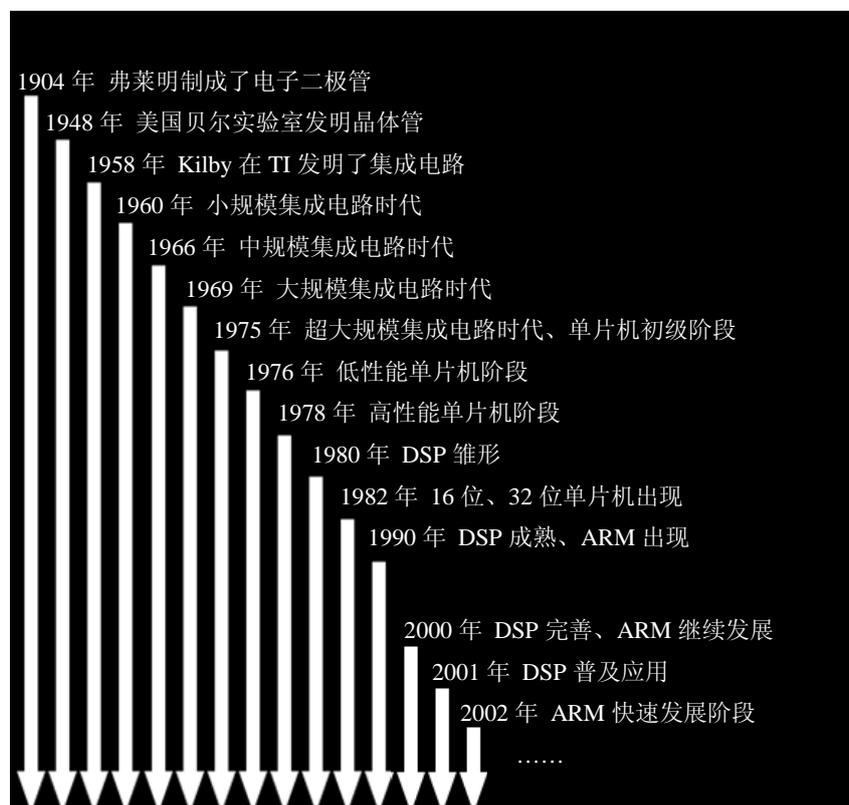


图 1-3 电子技术发展史

通过对现有的电路种类和形式的介绍，我们在前面提出来的任务可以使用模拟电路的知识加以解决。关于具体的电路知识可参考笔者的另一本书《电子设计从零开始》，其中有较详细和系统的介绍。

1.1.3 手工绘制电路图

在没有学习任何电路设计和绘制的软件之前，要把设计思路记录下来的最好办法就是用笔把思考的过程画下来。即使学会使用电路设计的辅助软件，用笔对系统的模块和电路形式进行初步设计也是一个很好的习惯。

通过参考资料并结合自己的思考，我们得到了实现图 1-2 所示功能的电路，用笔对电路图进行描绘，如图 1-4 所示。

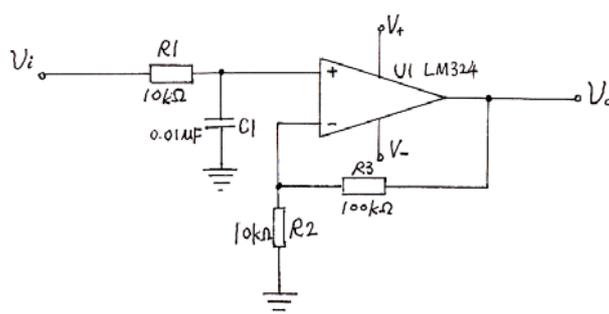


图 1-4 手工绘制的电路图

图 1-4 中，由 R_1 和 C_1 构成了一个低通滤波器，它的截止频率与设计的一致。由 U_1 LM324 构成的同相放大器，可以实现 20dB 增益的功能。我们将会在不同的内容中谈谈如何验证图 1-4 所示电路的正确性。

1.2 电路的仿真

仿真工具 电路仿真

电路仿真就是把设计好的电路图通过仿真软件的用户界面“输入”到计算机中，计算机通过分析电路的连接和功能把电路的“输出”通过不同的形式显示出来。

更简单地说，如果有图 1-4 所示的电路图，可以把它“输入”计算机中，通过计算机对电路的连接和器件之间的相互作用进行分析处理后，结合输入信号的波形，在电路的输出端得到输出信号。该信号可以用虚拟的仪器如虚拟示波器来观察。仿真使我们可以不用实际搭接电路也能对电路进行在线分析，这就是仿真的意义所在。

1.2.1 仿真工具

随着计算机在国内的逐渐普及，电子设计自动化软件（EDA 软件）在电子行业的应用也越来越广泛，但和发达国家相比，我国的电子设计水平仍然存在着相当大的差距。以下是一些国内最为常用的 EDA 软件。

Protel: Protel 是 Protel 公司在 20 世纪 80 年代末推出的 EDA 软件，在电子行业的 CAD 软件中，它当之无愧地排在众多 EDA 软件的前面，是电子设计者的首选软件。它较早在我国获得使用，其普及率也最高，几乎所有的电子公司都要用到它。早期的 Protel 主要作为印制板自动布线工具使用，运行在 DOS 环境，功能较少，只有电路原理图绘制与印制板设计功能，其印制板自动布线的布通率也低。而现今的 Protel 已发展到 Protel 2004，它工作在 Windows 环境下，是个完整的板级全方位电子设计系统。它包含了电原理图绘制、模拟电路与数字电路混合信号仿真、多层印制电路板设计、印制电路板自动布线、可编程逻辑器件设计、图表生成、电子表格生成、支持宏操作等功能，并具有 Client/Server（客户机/服务器）体系结构，同时还兼容一些其他设计软件的文件格式，如 OrCAD、PSpice、Excel

等,其多层印制线路板的自动布线可实现高密度 PCB 的 100%布通率。想更多地了解 Protel 2004 的软件功能可访问它的站点: <http://www.protel.com>。

OrCAD: OrCAD 是由 OrCAD 公司于 20 世纪 80 年代末推出的 EDA 软件,它是世界上使用最广泛的 EDA 软件,每天都有上百万的电子工程师在使用它。相对于其他 EDA 软件而言,它的功能也是最强大的。由于 OrCAD 软件使用了软件狗防盗版,因此在国内它并不普及,知名度也比不上 Protel,只有少数的电子设计者在使用它。它进入国内是在计算机刚开始普及的 1994 年,早在工作于 DOS 环境下的 OrCAD 4.0,它就集成了电原理图绘制、印制电路板设计、数字电路仿真、可编程逻辑器件设计等功能,而且其界面友好、直观,元器件库也是所有 EDA 软件中最丰富的,故它在世界上一直是 EAD 软件中的首选。对 OrCAD 有兴趣的读者可以去访问它的站点: <http://www.orcad.com>、<http://www.cadence.com> 和 <http://pcb.cadence.com>。

PSpice: PSpice 是较早出现的 EDA 软件之一,是由 SPICE 发展而来的用于微机系列的通用电路分析程序。SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 是由美国加州大学伯克利分校于 1972 年开发的电路仿真程序。随后,其版本不断更新,功能不断增强和完善。1988 年 SPICE 被定为美国国家工业标准。目前微机上广泛使用的 PSpice 是由美国 MicroSim 公司开发并于 1985 年首次推出的。SPICE 有工业版 (Production version) 和教学版 (Evaluation version) 之分。整个软件由原理图编辑、电路仿真、激励编辑、元器件库编辑和波形图等几个部分组成,使用时是一个整体,但各个部分各有各的窗口。PSpice 发展至今,已被并入 OrCAD,成为 OrCAD-PSpice,但 PSpice 仍然单独销售和使用,它的网址与 OrCAD 公司一样。

Electronics Workbench: Electronics Workbench 是 NI 公司的一个电路仿真系列软件。这个系列经历了 EWB 5.0、Multisim 2001、Multisim 7、Multisim 8 的升级过程。EWB 5.0 相对于其他 EDA 软件而言,是个较小巧的软件,只有 16MB;功能也比较单一,就是进行模拟电路和数字电路的混合仿真;但它的仿真功能十分强大,可以几乎 100%地仿真出真实电路的结果,而且在其桌面上提供了万用表、示波器、信号发生器、扫频仪、逻辑分析仪、数字信号发生器和逻辑转换器等工具,其器件库中则包含了许多大公司的晶体管元器件、集成电路和数字门电路芯片,器件库中没有的元器件,还可以由外部模块导入。在众多的电路仿真软件中,EWB 是最容易上手的,其工作界面也非常直观,原理图和各种工具都在同一个窗口内,未接触过它的人稍加学习就可以熟练地使用该软件。对于电子设计工作者来说,EWB 是个极好的 EDA 工具,许多电路无须动用烙铁就可得知其结果,而且若想更换元器件或改变元器件参数,也只需单击鼠标即可。EWB 可以作为电学知识的辅助教学软件,利用它可以直接从屏幕上看到各种电路的输出波形。EWB 的兼容性也较好,其文件格式可以导出成能被 OrCAD 或 Protel 读取的格式,由于 EWB 所占硬盘空间小,而且直接复制到别的机器上就可以使用,因此在盗版横行的国内它正以极快的速度在电子行业普及。目前,在 NI 公司的 EWB 系列软件中, Multisim 8 是最高的版本,功能较以前的版本有很大的提高。在本书中,我们主要使用 Multisim 8 来对电路进行仿真。图 1-5 所示是 Multisim 8 的工作界面,其中分成了工具栏、设计工具箱、电路窗口、电子数据表和状态栏等几个部分。这几个部分的内容将在 2.2 节中介绍,并将在以后的章节中详细学习 Multisim 8 各个

部分的功能。

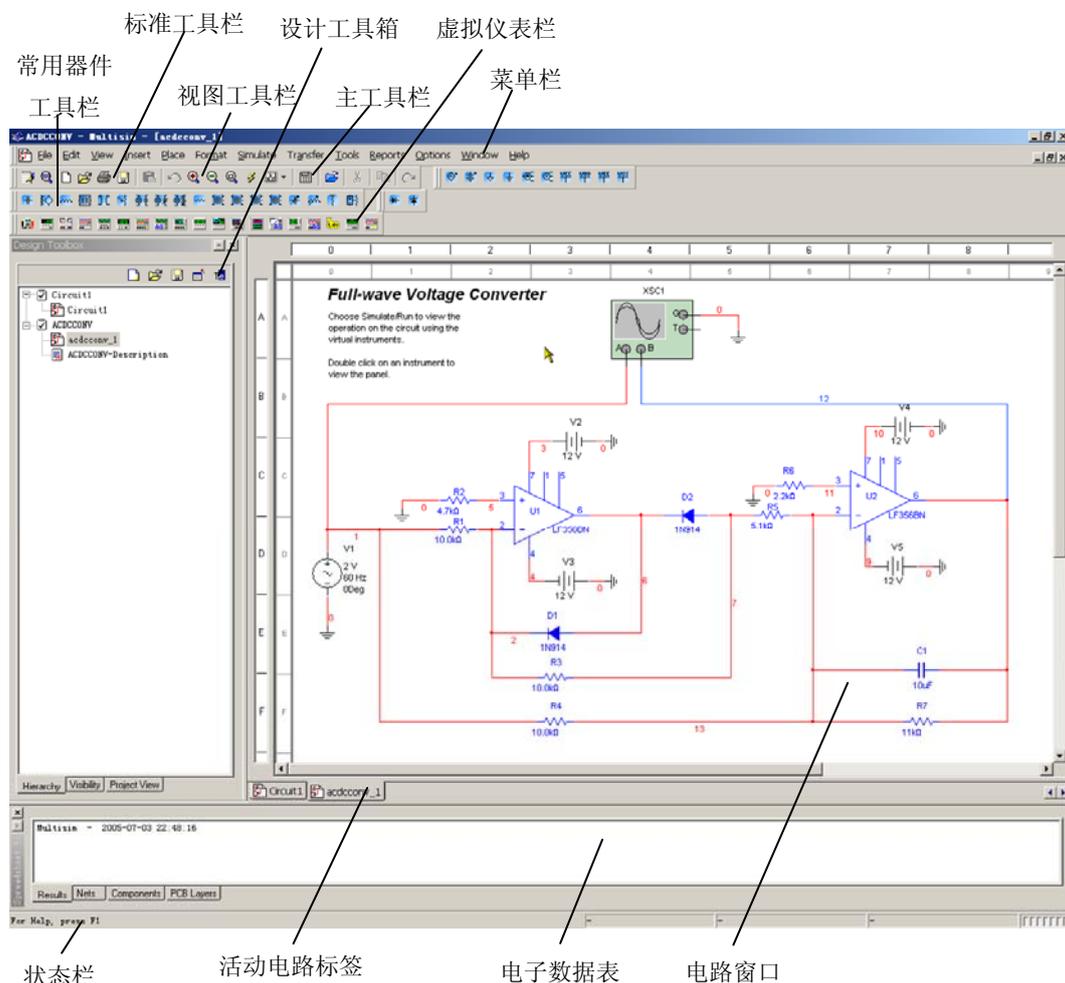


图 1-5 Multisim 8 工作界面

WINBOARD、WINDRAFT 和 IVEX-SPICE: WINDRAFT 和 WINBOARD 是 IVEX 公司于 1994 年推出的电原理图绘制与印刷电路板设计软件，由于它们推出的时间较晚，因此一开始就是工作在 Windows 平台上。它们的文件很小，WINDRAFT 和 WINBOARD 的安装盘都是两张软盘。其中 WINDRAFT 是用于电原理图绘制，WINBOARD 用于印制电路板设计，其界面都直观友好，可以很快就学会操作。它们的功能并不多，WINBOARD 设计印制电路板时也只能手工布线，但由于它们的易学易用性，仍有部分电子设计工作者使用。IVEX 公司在其后也不断地升级它的软件，对 IVEX 公司有兴趣或想下载 IVEX-SPICE 测试版的读者可访问这个站点：<http://www.ivex.com>。

EDA2002: 这是一个纯国产的 EDA 软件，主要应用于电子线路图、印刷电路板和电气工程图的计算机辅助自动化设计。该软件具有完整的绘图、输出、建库、自动化布局布线、设计优化、标准化等功能。它即选即得的元件出库，比其他 EDA 软件快捷得多。该软件由

厦门超伦软件公司开发推出,有兴趣的读者可以访问一下它的站点: <http://www.eda.com.cn>。

以上简单介绍了多种在电子设计领域中常用的 EDA 软件,在这个行业中专用的 EDA 软件还有很多,如用于变压器设计的、电气设计的、集成电路设计的等,还有各种各样的单片机仿真软件,有兴趣的读者可以在互联网上寻找适合自己研究方向的 EDA 工具。

1.2.2 电路仿真

使用 Multisim 8 进行电路仿真是一件很愉快的事。在这里,我们暂时忽略如何在 Multisim 8 中连接电路、设置器件等过程,先来感受一下 Multisim 8 电路仿真功能的便捷。

通过简单而快速的连接,可以得到如图 1-6 所示的电路图。这张在 Multisim 8 中连接的标准电路图,是前面手工绘制的低通滤波器。其中, V1 是信号源,以产生实验所需要的输入信号。XBP1 是虚拟波特仪(也称扫频仪),可以检测电路的幅频特性和相频特性。XSC1 是一台双通道的虚拟示波器,通过示波器可以观察在不同输入信号频率下的输入输出波形关系。U1 是运算放大器,这里所使用的是理想器件,即忽略了电源并具有理想放大性能的器件。

另外,在 Multisim 8 中,默认电阻电路标识是 ANSI 中定义的 $\frac{R1}{10k\Omega}$ 形式,可以通过 Options→Preferences→Parts 命令中的 Symbol standard 来设定成国标的形式。

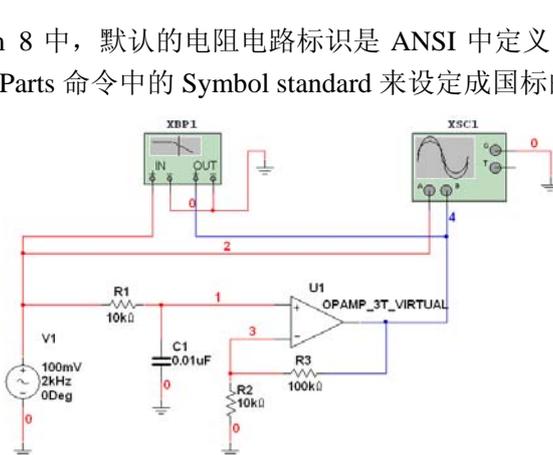


图 1-6 低通滤波器电路图

可能读者会问,把电路和虚拟仪表连接在一起怎么就能仿真呢?仔细检查连接好的电路后,打开仿真开关,双击示波器和波特仪,在图 1-6 所设定的参数下,就可以得到电路的幅频特性曲线图,如图 1-7 所示。

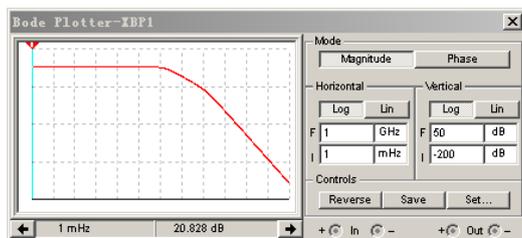
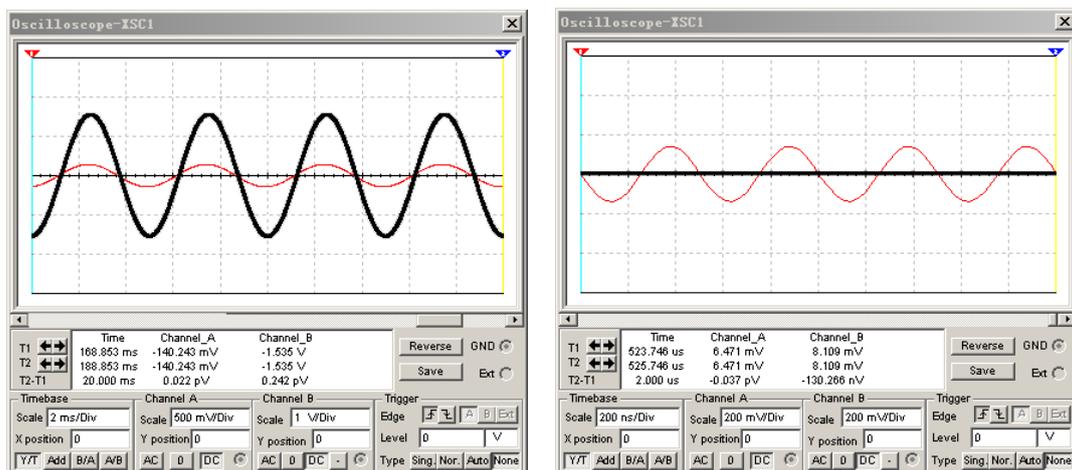


图 1-7 幅频特性曲线

这时, 改变信号源 V1 的频率, 分别取 20Hz、200Hz、2kHz、2MHz, 可以看到频率越高, 输出信号衰减得越厉害。当输入信号频率 2MHz 时, 输入信号被电路几乎完全阻拦了, 图 1-8 分别演示了输入信号为 200Hz 和 2MHz 时电路的输入输出波形曲线 (输出曲线被加粗, 全书同)。



(a) V1=200Hz

(b) V1=2MHz

图 1-8 不同输入信号频率下的输出波形

从以上的仿真结果得知, 所设计的电路基本实现了原来规划的功能, 即具有低通滤波特性和一定的增益。

1.3 绘制电路原理图

电路原理图 绘制工具 绘制电路原理图

电路原理图就是一般俗称的电路图。这是一种表示电路连接和元器件相互之间作用关系的图纸。电路原理图是电子技术的“语言”, 是电子工程师交流的工具。图 1-9 所示是一个 7 段数码管的 BCD 码编码电路 (该电路来自 Protel 2004 安装目录下), 有了这样一张电路图, 全世界的电子工程师之间就可以进行交流了。分析电路得知, 它通过一个脉冲电压源向十进制计数器 74LS90 提供时钟信号, 在 74LS90 的输出端产生 BCD 码, 然后由 4 个非门、9 个二输入的与非门、3 个三输入的与非门、3 个四输入的与非门和 1 个八输入的与非门组成的编码器, 将 4 位 BCD 码转变成对应 7 段数码管显示的 7 位代码, 再通过锁存器 74LS373 进行缓冲, 最后信号经过三极管放大后驱动 7 段数码管发光显示。

有了诸如图 1-9 所示的电路原理图, 我们很容易与其他人进行电路设计上的交流与沟通, 由此可见, 标准的、清晰的电路原理图至关重要。

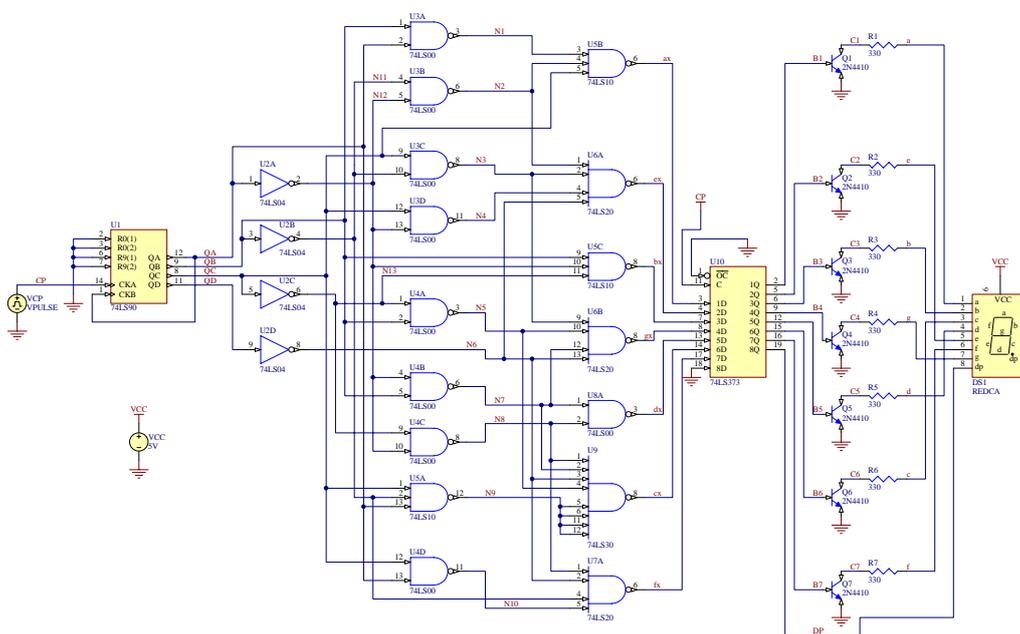


图 1-9 7 段数码管的 BCD 码编码电路

1.3.1 电路原理图

前面提到的图 1-4 是手工绘制的电路原理图，对于这类简单电路来说，有这样一张手绘的图纸就足够与人交流了。可是，像图 1-4 这么简单的电路图除了在电子技术基础实验课以外并不多见，一旦遇到复杂的电路原理图，无论是设计还是与别人交流，用手工绘制的电路图都有失美观。

一般的电路原理图由电子器件、连接、标号等几部分组成，如图 1-10 所示的负反馈放大器电路，它由电阻 R_b 、 R_c ，电容 C_1 、 C_2 和三极管 VT 组成，其中器件之间的连线代表了它们之间的连接，包括电源 V_{cc} 、输入输出 V_i 和 V_o 等标号清晰地表达了电路原理图的内涵。虽然这是一张简单的电路图，但电路图中一些基本的元素都蕴含其中。关于电路原理图中其他内容将会在本书以后的章节中看到。

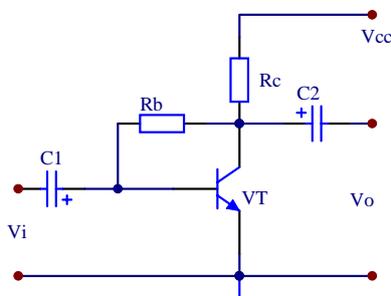


图 1-10 负反馈放大器电路

1.3.2 绘制工具

当今比较流行的电路设计软件有 Protel、OrCAD、PowerLogic 等,本书着重介绍 Protel 2004 这个国内最流行的电路原理图和电路板绘制工具。

Protel 2004 是一套优良的“项目级”设计系统,它真正实现了在单个应用程序中的集成。借助于 Windows XP 和 Windows 2000 平台的优势,Protel 2004 与其他较早的版本相比,具有更高的稳定性、更强的图形功能和更人性化的图形用户界面,电子工程师们可以在 Protel 2004 上很方便地完成电路的设计、仿真、分析和电路板的设计工作。

安装完 Protel 2004 后,启动软件,将出现如图 1-11 所示的工作界面。工作界面由菜单栏、常用工具栏、文件工作区面板、工作区、工作区面板和工作区面板按钮等几部分组成。

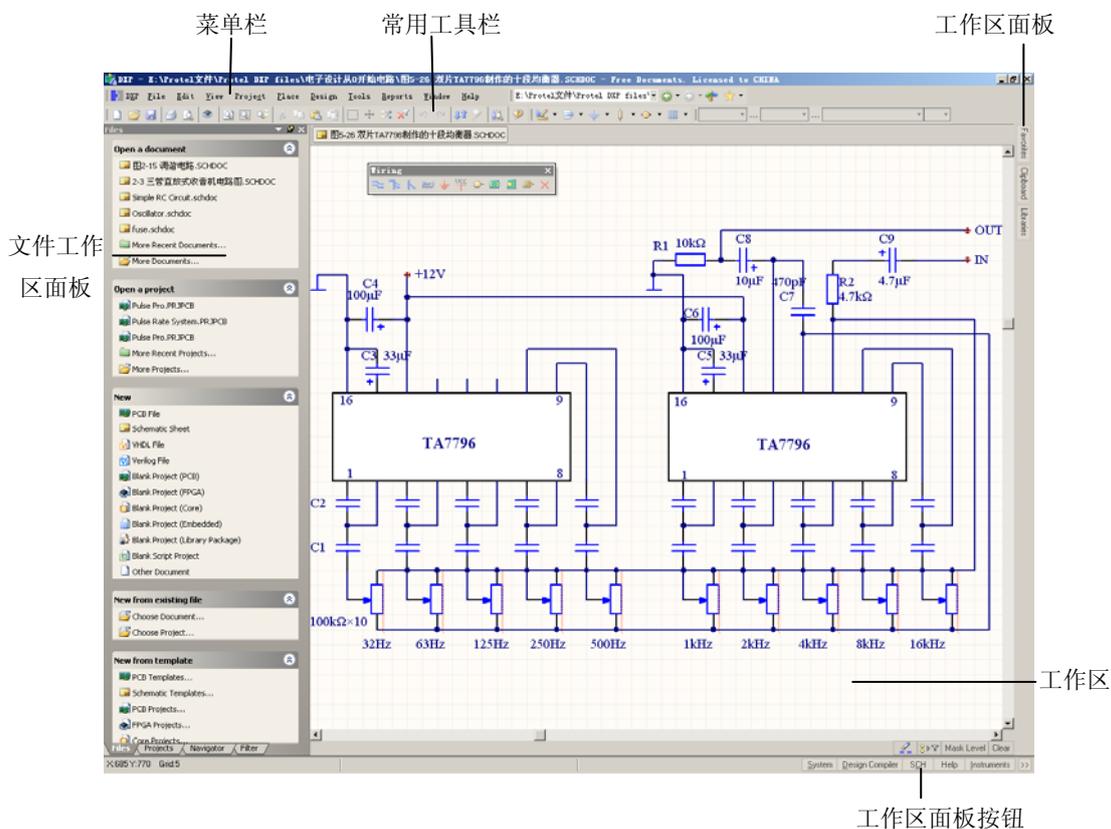


图 1-11 Protel 2004 主界面

1.3.3 绘制电路原理图

前面,我们使用 Multisim 8 把图 1-4 所示的低通滤波器进行了仿真,在 Multisim 8 中所画

的就是一幅电路原理图。而在 Protel 2004 中绘制的低通滤波器的电路原理图如图 1-12 所示。

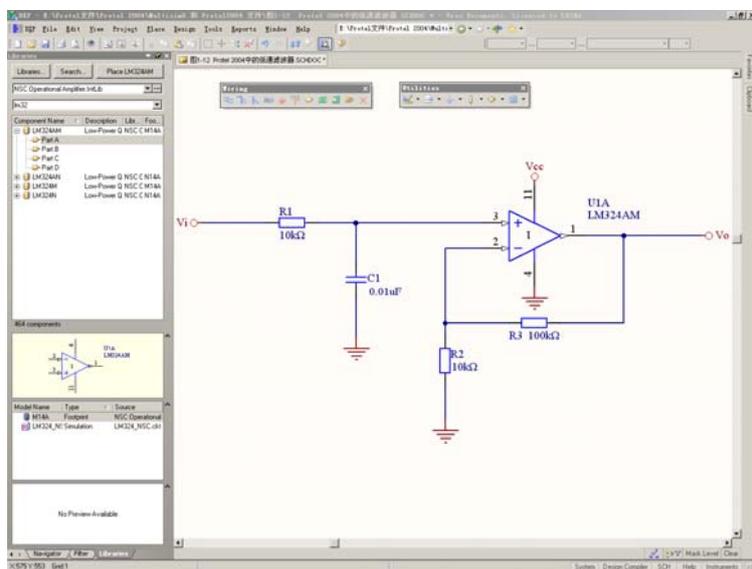


图 1-12 Protel 2004 中的低通滤波器

与 Multisim 8 中相同的是, Protel 2004 中的电路也可以进行仿真。此外, 这张绘制好的原理图可以很方便地生成电路板设计图纸。关于如何在 Protel 2004 中绘制电路原理图将在本书稍后部分谈到。

1.4 印刷电路板

印刷电路板 印刷电路板的组成结构 印刷电路板的设计

要学习设计与制作电路, 就不能不了解 PCB 这个名词。PCB 是 Printed Circuit Board (印刷电路板) 的缩写, 是进行电路设计与制作的最终目的。

在任何一台电子设计中, 都会有印刷电路板。印刷电路板承载着实现电路功能所需的电子器件, 并附着着器件之间连接的导线(主要是敷铜), 此外, 还印制有一些器件的标号等信息。小到电子表的电路板, 大到银河系列计算机的主板, 仔细观察会发现, 电路板上的布线越来越密集, 但其中的基本组成和板子的结构是一样的。PCB 对于各种电子设备来说至关重要, 在一些高频电路中, 印刷电路板设计的优劣直接影响系统功能的实现。

1.4.1 印刷电路板

印刷电路板有单面板、双面板和多层板几种。顾名思义, 单面板只在一面敷着铜箔导线, 双面板则在两面都有。现在, 除了一些很简单的电路外, 单面板已经很少用到。此外, 在设计复杂的电路系统, 如 DSP、ARM 等的系统电路板时常常会用到多层板。多层板就是除了 PCB 的正反面布有导线外, 板子间隙还布有一层或多层导线。图 1-13 所示就是一

块嵌入式系统电路板，它采用的是 4 层板结构。一般的计算机主板、显卡等设备的电路板均为多层板结构。

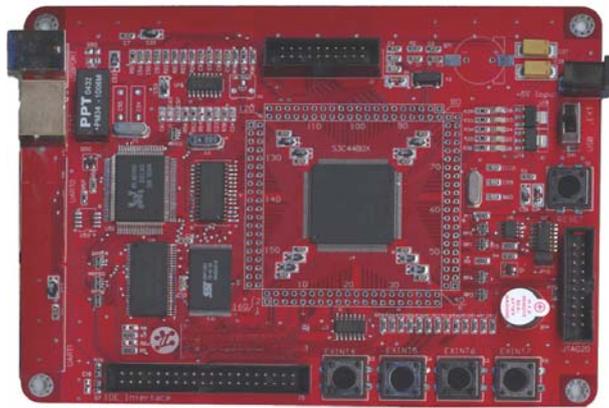


图 1-13 嵌入式系统板

PCB 的表面一般有 3 层，从上到下依次是丝印层、阻焊层和铜箔层。

(1) 丝印层：即丝网印刷层。电路板要能更好地完成电气连接任务，除了铜箔层外，丝印层也是必不可少的。丝印层位于印刷电路板的最上层，记录着一些标志图案和文字标号（一般为白色），如元件的标号、型号、封装形状、厂家标志和一些设计信息。

(2) 阻焊层：为了使制作的电路板满足焊接的需要，同时为了保护下一层的铜箔导线，在丝印层下是阻焊层。该层把除了焊盘和过孔（焊盘和过孔的概念稍后会谈到）外，将铜箔导线用阻焊剂保护了起来。

(3) 铜箔层：即信号层或叫布线层。铜箔层完成电路的电气连接。通常将铜箔的层数定义为电路板的层数，因此单面板只有一个铜箔层，双面板上下表面都有铜箔层，而更复杂的电路板则有多个铜箔层。

图 1-14 是一个双面板的示意图，其中说明了以上 3 层在 PCB 中的位置。

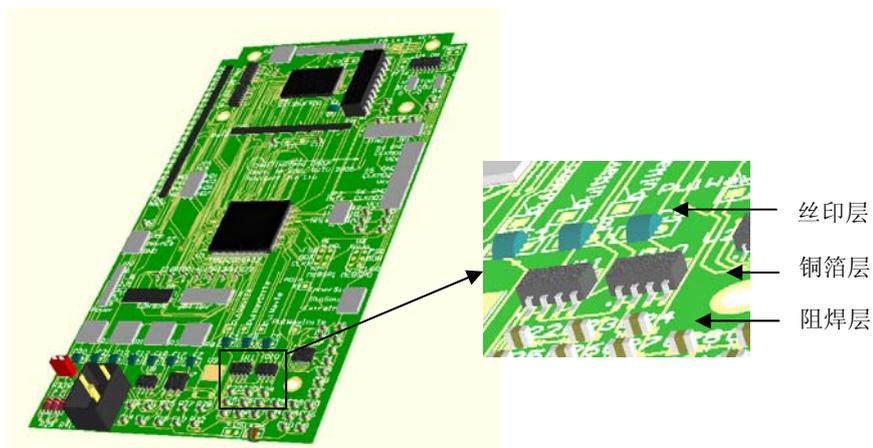


图 1-14 PCB 结构示意图

1.4.2 印刷电路板的组成结构

印刷电路板的关键部分在铜箔层上。铜箔层的几个主要部分如下：

(1) 焊盘：在 PCB 上，焊盘完成着电气连接的任务，各个元件的引脚都是焊接在焊盘上的。通过焊盘完成各个元件间信号的输入与输出，并与 PCB 的其他部分连接起来。

(2) 布线：在 PCB 上的铜箔导线起着实际电路中的导线作用。布线将焊盘与焊盘之间相连接，完成整个电路板上电气特性的连接任务，布线通常受到线宽和线间距等条件的限制。

(3) 过孔：过孔主要完成不同铜箔层之间的电气连接任务，在层与层之间需要连通的导线上打通一个公共的孔，在制板时通过沉铜技术将孔壁圆柱面上镀上一层金属，以连通各层需要连通的铜箔。过孔的上下两面大多做成焊盘的形状，可以连在上下两面的线路上，也可以不连。Protel 2004 中提供通孔、盲孔、半盲孔 3 种过孔形式，它们的区别如图 1-15 所示。通孔是从顶层打通到底层的过孔；盲孔只用于中间层的导通连接，而没有穿透到顶层或底层的过孔；半盲孔则是从顶层或底层到某个中间层，不打通且在板子的表面可见。

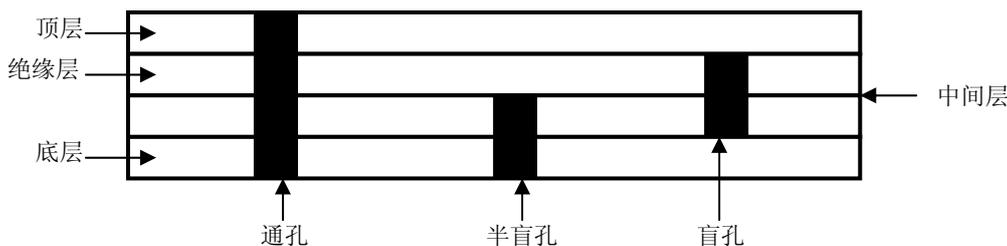


图 1-15 PCB 结构示意图

1.4.3 印刷电路板的设计

前面谈到，在进行电路设计之前需要明确电路的功能，只有先把系统的所有功能确定，才能合理有效地进行电路设计。印刷电路板是进行电路原理图设计的最终目的，在整个系统设计过程中，印刷电路板是系统功能实现的载体。所以，在设计印刷电路板之前，同样需要对系统将要实现的功能有个清楚的认识。

一般来说，一个系统的设计应遵循以下步骤：

(1) 系统功能规划。对电子系统将要实现的最终效果进行设计，这是统领整个电子系统设计过程的重要一步。

(2) 系统功能框图描绘。把整个系统的功能模块进行细分，例如图 1-2 所示的整个低通滤波器的模块由两部分组成，一是低通滤波器，一是放大器。在庞大的电路系统中，系统的框图会很多，框图与框图之间的关系也会很复杂。

(3) 电路原理图设计。根据每一个设计的框图，设计对应的电路原理图。有时，一个框图可能有多种实现的电路，这就需要根据具体情况如系统功能、成本限制、大小、器件

的供求、前后级连接等进行电路选择。

(4) 电路仿真。使用 Multisim 8 等 EDA 软件对所设计的电路进行仿真，以保证设计的正确性。这里需要注意的是，Multisim 8 主要的仿真对象是模拟电路、数字电路和射频电路，而对于单片机、DSP、嵌入式系统来说，它就显得束手无策。所以，在尽可能的仿真之外，还需要多方面地论证上一步设计的电路的正确性与可靠性。

(5) 绘制标准的电路原理图。为了生成标准的电路原理图进而进行 PCB 的设计，可以在 Protel 等电路设计软件中完成电路原理图的绘制工作。需要注意的是，在实践中，多多积累在 Protel 中绘制电路原理图的经验，使得设计出来的电路图即美观，也不失标准性。绘制好标准的电路原理图后，可以使用 Protel 的查错等工具对电路进行检查。

(6) 印刷电路板规划。印刷电路板的规划，主要指对板子的大小、形状的考虑。这需要结合产品将来的外观和安装等因素综合考虑。当确定板子的大小和形状之后，就可以把上一步绘制好的电路原理图直接导入印刷电路板，进行元器件的初步布局工作。

(7) 设计印刷电路板。把电路板上的器件布局完成以后，即可进行布线程序了。一般来说，Protel 2004 强大的布线工具足以完成一般的 PCB 布线。当自动布线完成以后，还需要进行人工调整布线和在对布线进行仔细的检查，然后交由印刷电路板加工工厂进行 PCB 的加工。

(8) 装机与调试。加工好的 PCB 理论上说与所设计的一模一样，但在焊接元器件之前对 PCB 进行仔细的检查很有必要，因为加工过程中很有可能出现一些问题，如不检查就直接焊接，很可能会发现当焊接完所有元器件之后 PCB 的走线有问题，追悔莫及。一般来说，焊接应该按系统的模块进行，即每焊接一个模块的所有元器件进行这一模块的测试，没有问题再往下进行。最后，完成所有模块的电路制作，进行整体调试。

作为示例，在这里略过如何使用 Protel 2004 生成印刷电路板的过程，根据原理图 1-12 完成了低通滤波器的印刷电路板，设计尺寸为 30mm×20mm，如图 1-16 所示。图中，U1 为运算放大器 LM324，Vcc 为系统的供电端口，Vi 和 Vo 分别是电路的输入输出测试端口。该电路板的元器件很少，它们之间的关系也不复杂，所以布线很简单。

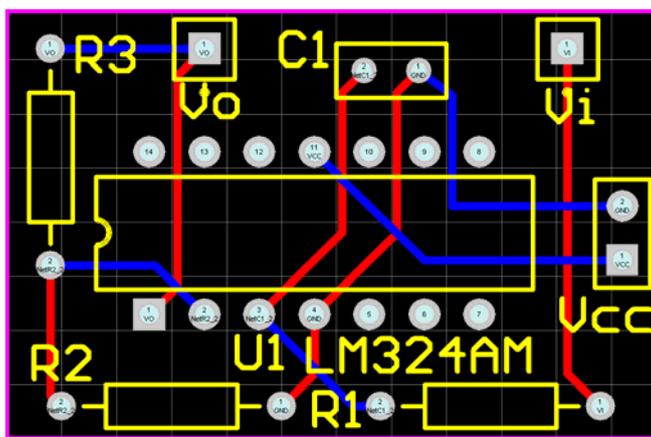


图 1-16 低通滤波器的印刷电路板设计图

1.5 焊接与调试

焊接器件 信号发生器与示波器 调试

焊接与调试是系统开发的最后一步。当完成了电路设计和印刷电路板制作之后，检查无误就可以进行器件的焊接了。

1.5.1 焊接器件

所有元器件的引脚在焊入电路板之前，都需要进行清洁处理。清洁元器件可用橡皮擦，如图 1-17 所示。对于氧化严重的器件引脚，可用利器将其刮干净，如图 1-18 所示。在器件刮脚时应注意旋转元器件引脚，尽量将引脚的四周全部刮净。

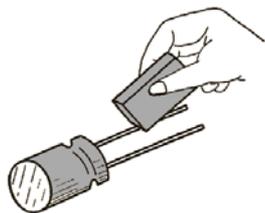


图 1-17 橡皮擦清洁引脚

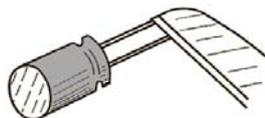


图 1-18 刮脚

有一些电感类元器件是由漆包线或纱包线绕制而成的，如变压器、扼流圈、线圈、电感等。漆包线是在铜丝外面涂了一层绝缘漆，纱包线则是在单股或多股漆包线外面再缠绕上一层绝缘纱。由于漆皮和纱层都是绝缘的，装机时，如果不把这类引脚线上的漆皮和纱层去掉就焊接，表面看起来是焊上了，实际上是虚焊，电气上并未接通。所以遇到这类器件时，同样需要对引脚（线）进行清洁处理。

接下来，我们再谈谈电烙铁及其使用。电烙铁有内热式、外热式、恒温式和吸锡式等几种。按其功率分为 15W、20W、30W、45W、75W、100W 和 200W 等几种，应根据所焊接元器件的大小和导线粗细来选用。一般焊接晶体管、集成电路和小型元件时，选用 45W 以下的即可。如果焊接贴片式元器件，可选用恒温电烙铁。恒温烙铁工作头温度从 100℃ 到 400℃ 随意可调。有的烙铁设有瞬间强加热功能，能在短时间（0.5~1 秒）内将焊点温度上升 100℃~200℃ 左右。可选配用长寿命的合金材料制成的多种型号工作头，适用于各种不同焊接场合。恒温烙铁寿命长、用电省、体积小、重量轻、手感好、操作方便、外形美观，是焊接电路板的首选。

常用的焊接材料为焊锡（丝）。其作用是把元器件引脚与焊盘连接在一起。焊锡有多种规格，一般以其直径为标定。焊接贴片器件可选用 $\phi 0.2 \sim \phi 0.3$ 的，一般的直插器件则选用 $\phi 0.5 \sim \phi 0.7$ 的。此外，贴片器件的焊接还可以选用专用的贴片焊剂，这是一种液体状的焊锡，使用时只要在焊盘和贴片器件的引脚上沾上一点，用烙铁、专用的回流焊机或热风枪就可以完成焊接。

此外，在焊接工序中，还可以使用助焊剂和去锡（焊）丝。最常用的助焊剂是松香，它的软化温度为 $52^{\circ}\text{C}\sim 83^{\circ}\text{C}$ ，加热到 125°C 时变为液态。若将 20% 的松香、78% 的酒精和 2% 的三乙醇胺配成松香酒精液，比单用松香的效果好。若将 30g 松香、75g 酒精、15g 溴化水杨酸和 30g 树脂 A 配成助焊剂效果更好。如果在焊接过程中，不慎将焊锡点在不应该连接的焊盘间，这时可使用去锡（焊）丝将多余的焊锡吸走。

下面以焊接一个电阻为例，看看元器件的焊接过程。

把电阻插入对应的焊盘孔中，引脚在印刷电路板上一侧伸出。这时，我们一手拿焊锡丝，另一手拿电烙铁，把电烙铁头接近电阻的引脚刚刚出孔的位置，接着把焊锡凑近，然后焊锡与烙铁头同时贴到引脚的焊盘上。焊锡在烙铁的高温下迅速熔化，使电阻的引脚和印刷电路板上的焊盘紧紧地焊接在一起。最后用偏口钳把过长的元件引脚剪去，如图 1-19 所示。注意，先把焊锡熔化在电烙铁上再往电路上焊接是不正确的。

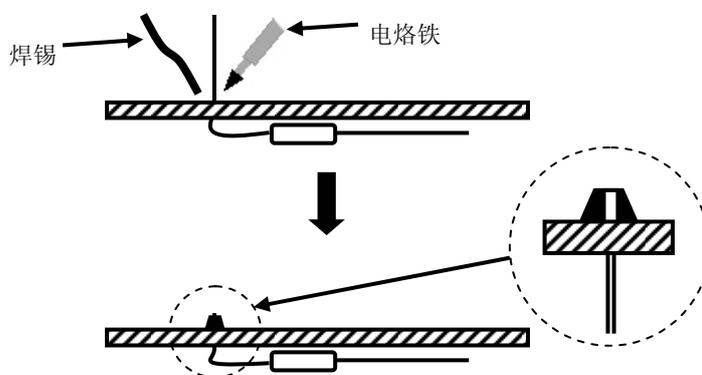


图 1-19 焊接

标准的焊点应该圆而光滑、无毛刺。像豆腐渣一样的蜂窝状焊点是虚焊的表现，在焊接过程中绝对要避免！如何得到标准、美观的焊点呢？除了凭经验控制焊锡量外，电烙铁的焊接动作也很重要。这些方法需要多练习、多积累经验。图 1-20 所示是一些不合格的焊点。

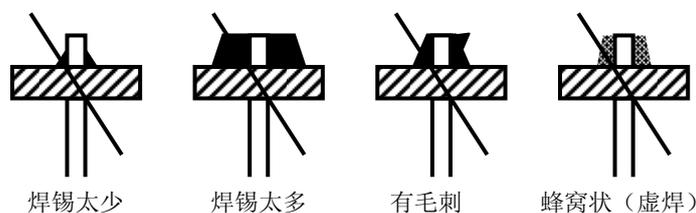


图 1-20 不合格的焊点

1.5.2 信号发生器与示波器

信号发生器与示波器是电子设计和实验中十分常用的两种仪器。完成了电路的焊接之

后，使用这些工具对电路进行检测和调试是很有必要的。在 Multisim 8 中，也集成了这两种虚拟仪器供用户使用。

图 1-21 所示是 MD1644 型信号发生器，这是一款具有典型功能的函数信号发生器。其面板上的按键和旋钮为：



图 1-21 MD1644 型信号发生器

- ◇ 频率显示：显示输出信号的频率或外测频信号的频率。
- ◇ 幅度显示：显示函数输出信号的幅度。
- ◇ 频段选择：每按一次此按钮可改变输出频率的 1 个频段。
- ◇ 电源开关：此按钮按下时，机内电源接通，整机工作。释放此按钮则为关掉整机电源。
- ◇ 单次：控制单次信号的输出。
- ◇ 频率调节：调节此旋钮可微调输出信号频率。
- ◇ 占空比调节：调节输出信号的占空比。
- ◇ 直流偏置调节：调整输出信号的直流偏置，当电位器处在中心位置时，则为 0 电平。
- ◇ 幅度调节：对信号的幅度进行调节。
- ◇ 输出衰减：20dB 和 40dB 按钮均不按下，输出信号不经衰减，直接输出到插座口。20dB 和 40dB 按钮分别按下，则可选择 20dB 或 40dB 衰减。同时按下则有 60dB 的衰减。
- ◇ 输出：输出多种波形受控的函数信号，输出幅度有 20V_{p-p} (1MΩ负载) 和 10V_{p-p} (50Ω负载)。
- ◇ TTL 输出：输出同标准的 TTL 幅度的脉冲信号，输出阻抗为 600Ω。
- ◇ 外测输入：当使用外测信号功能时，外扫描控制信号或外测频信号由此输入。
- ◇ 压控输入：压控信号输入端。
- ◇ 波形选择：可选择正弦波、三角波或脉冲波输出。

在调试或电路实验中，把信号发生器的输出信号作为被测电路的输入信号，有一些电

路的输入信号要求幅度比较小，一般都在 mV 级，所以信号发生器的电压输出衰减根据具体情况要设置在 20dB 或 40dB。可通过幅度显示来读取信号发生器的输出信号幅度大小。

在电路的输出端，使用示波器对信号进行观察。在很多情况下，示波器的两个通道分别连接电路的输入与输出端，同时对输入信号与输出信号进行观察，以便检查电路的工作状态。图 1-22 所示是 Tektronix 公司的 TDS 1012 型双通道数字存储示波器。由于示波器的种类和品牌比较多，具体的使用方法可以参考示波器的使用说明书。



图 1-22 Tektronix 1012 型双通道示波器

1.5.3 调试

完成电路板的制作并对常用的调试仪表有了大致的了解，就可以着手进行电路板的调试了。根据图 1-23 所示的示意图，连接一个测试电路。

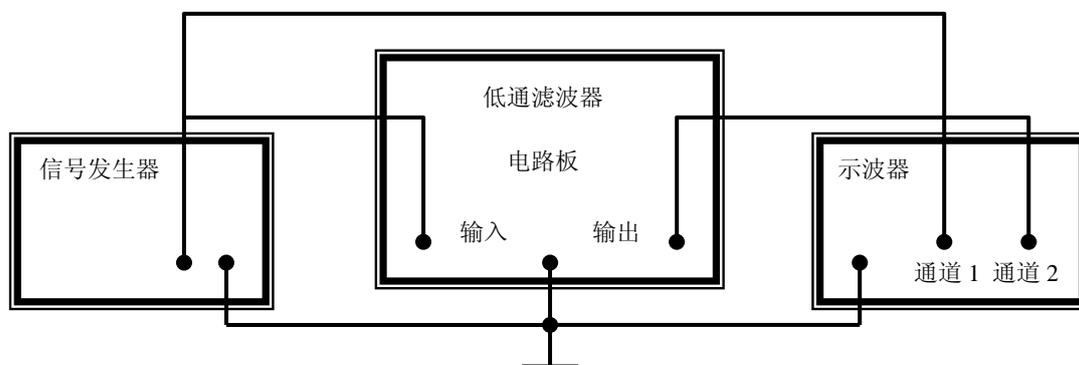


图 1-23 测试电路

这时，设置信号发生器的幅度为 100mV，输出频率从 20Hz 开始逐渐调高，在示波器上可以看到两个通道波形的比较情况。频率越高，输出信号衰减得越厉害，在实验过程中，可以测试到某一输入频率对应的输出信号幅度与输入信号幅度相等，即增益为 0，也可以测试低通滤波器的截止频率。

通过以上的调试，就可以对电路的实际功能与设计之初的规划相比，如果调试效果与设计相符，说明电路的设计与制作是成功的，否则需要对设计到制作的每一环节进行检查，找出问题所在。