

电子技术应用实验指导书

古良玲

重庆理工大学 电工电子技术实验中心

2022 年 02 月

目 录

ALTIUM DESIGNER 应用——原理图设计	1
ALTIUM DESIGNER 应用——印刷电路板设计	8
声控开关.....	24
步进电机控制器	29
交流电压自动增益控制放大器	35

Altium Designer 应用——原理图设计

一. 实验目的

1. 认识 Altium Designer 09 窗口界面
2. 熟悉原理图设计环境
3. 熟悉原理图设计步骤和方法
4. 掌握原理图元件库的使用

二. 实验内容

绘制积分电路原理图如图 1 所示。

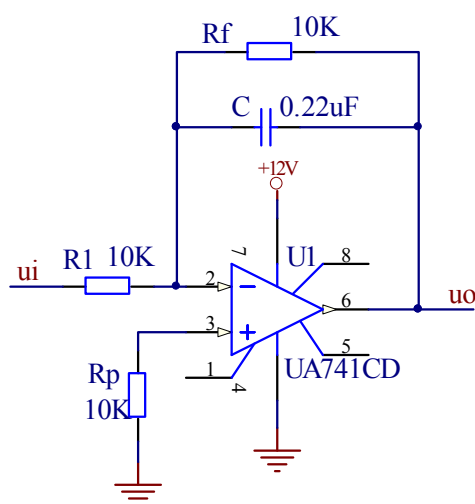


图 1 积分电路原理图

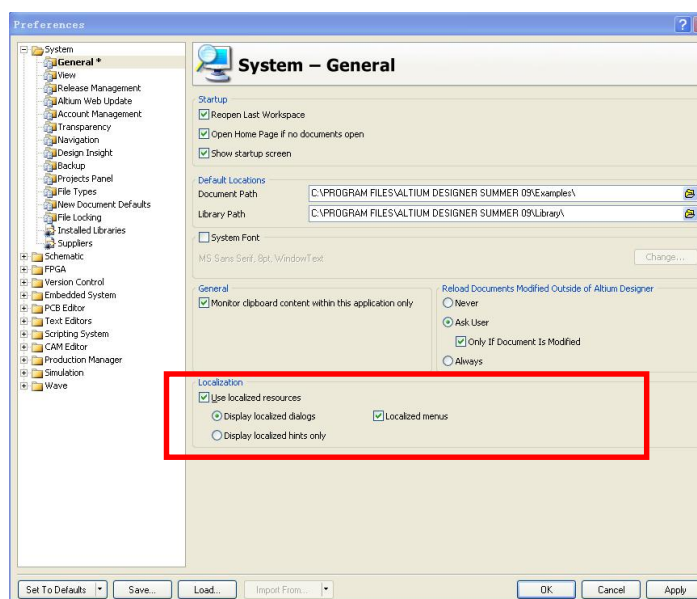


图 2 软件汉化设置

三. 实验步骤

提示：实验指导书采用汉化版，若不是汉化版，执行菜单【DXP】→【Preference】→【System】→【General】，勾选“Use localized dialogs”选项，如图 2 所示。设置成功后，重启软件即可实现汉化使用。

1. 新建项目文件

1) 执行菜单命令【文件】→【新建】→【工程】→【PCB 工程】，执行完后在 Project 工作面板中将出现如图 3 所示项目文件。

2) 执行菜单命令【文件】→【保存工程】，弹出保存路径菜单，确定保存路径和输入项目文件名为“积分器电路”保存。如图 4 所示。

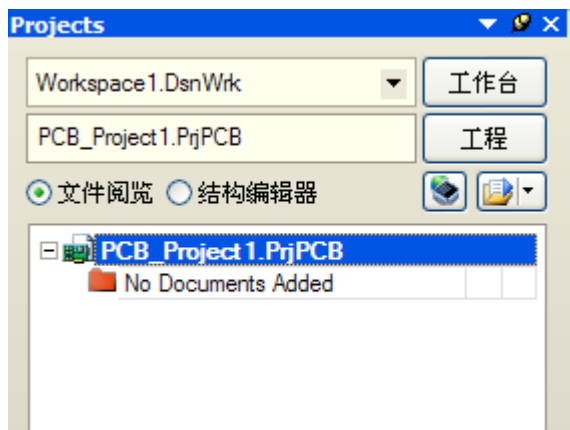


图3 新建项目文件



图4 保存项目文件

2. 新建原理图文件

执行菜单【文件】→【新建】→【原理图】，在 Project 工作面板的项目文件下新建一个原理图文件 Sheet1.Schdoc，保存为“积分器电路.Schdoc”，保存后效果如图 5 所示。

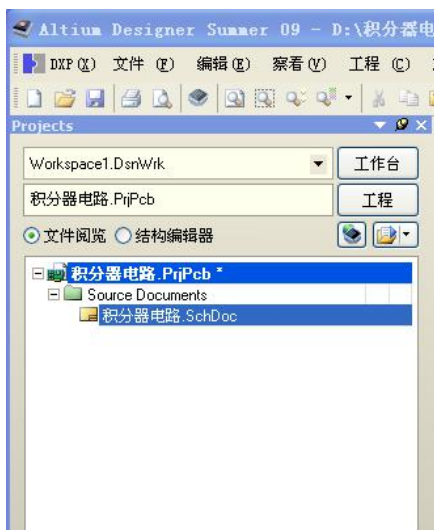


图5 新建并命名原理图文件

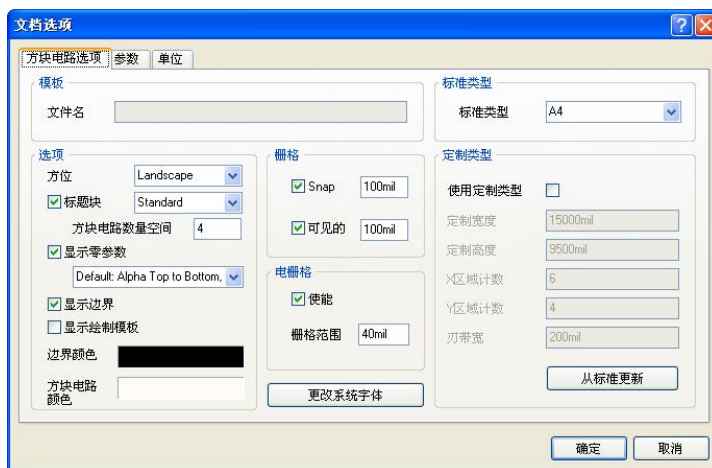


图6 原理图图纸设置对话框

3. 图纸规划

执行菜单【设计】——【文档选项】，弹出“文档选项”对话框，如图 6 所示。图纸类型设置为 A4，纸张方向设置为横向（Landscape），捕捉(snap)栅格设置为 10mil，可视(Visible)栅格设置为 20mil。

4. 装载原理图元件库

电路中所包含的元件类型有：电阻、电容、芯片 uA741。电阻电容这些常用的元件在集成库 Miscellaneous Devices.IntLib 中都可以找到。默认情况下，创建原理图文件时，该库会自动加载，若在库列表中无此元件库，可通过下面方法加载。

1) 启动库工作面板。点击【System】→【库】，打开 Libraries 工作面板。在 Libraries 工作面板上单击【库...】，弹出如图 7 所示的添加元件库对话框。

2) 装载元件库。单击选项下方【添加库】按钮，在软件安装目录如 C:\Program Files\Altium Designer Summer 09\Library 下，选择添加 Miscellaneous Devices.IntLib，单击“打开”添加库完成，如图 8 所示。

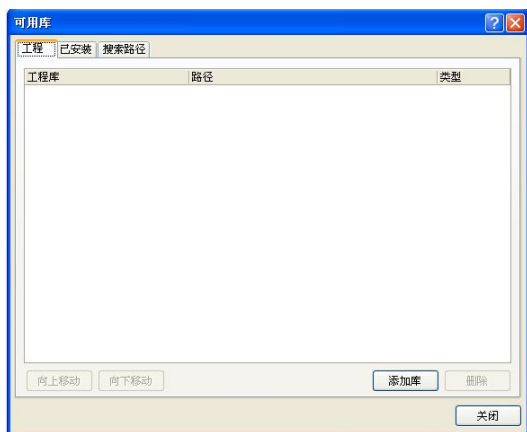


图 7 添加元件库

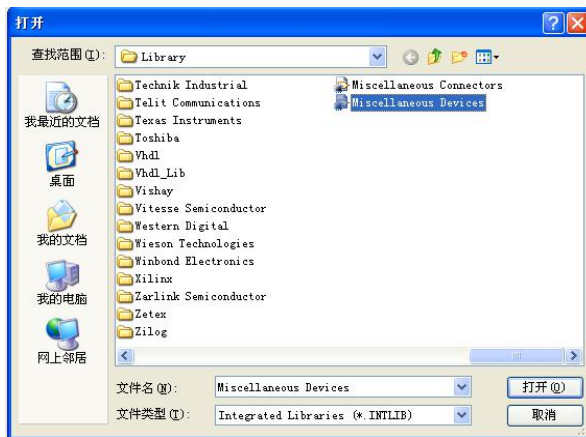


图 8 添加 Miscellaneous Devices.IntLib

5. 放置调整元件

1) 在 Miscellaneous Devices.IntLib 中，在元件库中查找电阻如图 9 所示。双击“Res2”，鼠标上则粘着电阻，光标变为十字。

2) 此时按下 Tab 键，设置元件属性，主要是：标识 (Designator)、注释 (Comment) 等，并选择“可视”，如图 10 所示。点“确定”后再在图纸上单击左键，即可把电阻 R1 放到图纸上。

3) 然后依次查找并放置其他电阻和无极性电容 (Cap) 等。

4) 如果元件的方向不符合要求，则可调整元件的方向，方法是鼠标点住元件不放，按“Space”键，则可旋转 90 度，按“X”则可分别在 X 方向翻转，按“Y”键，则可在 Y 方向翻转。

5) 复制粘贴。Altium Designer 支持复制粘贴，选择需要粘贴的部分，按 Ctrl+C 复制，再按 ctrl+V，则可粘贴。

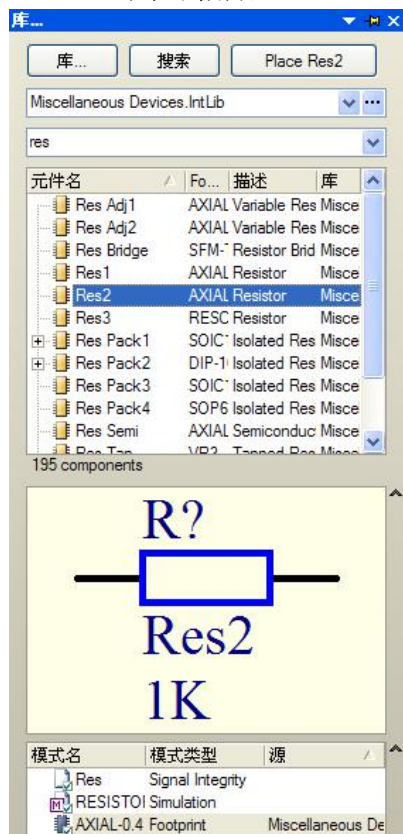


图 9 放置电阻

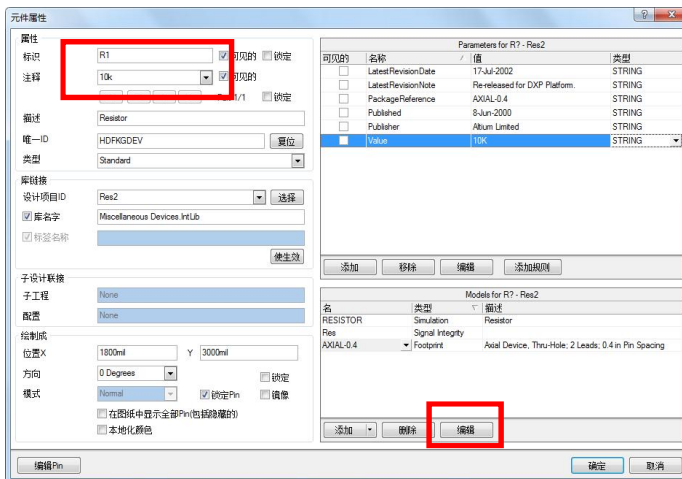


图 10 电阻属性设置

6. 查找元件

如果所用器件不在标准库中，可以到 Altium Designer 09 自带库中查找。
在如图 9 的【库面板】点【搜索】，出现如图 11 搜索库对话框。

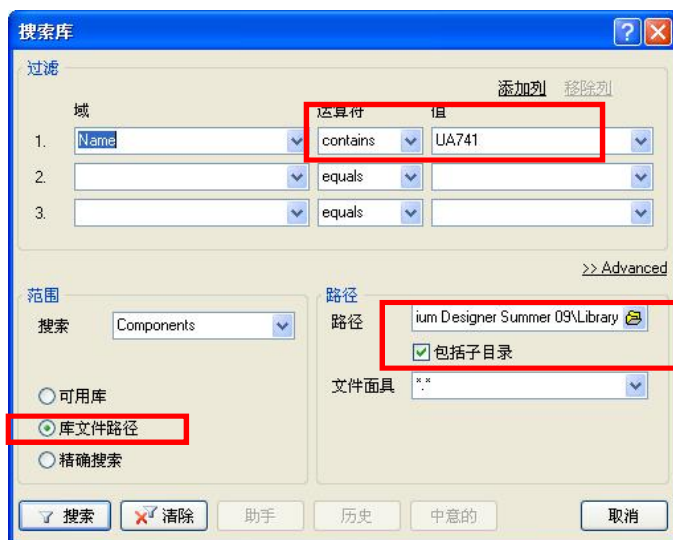


图 11 搜索库界面

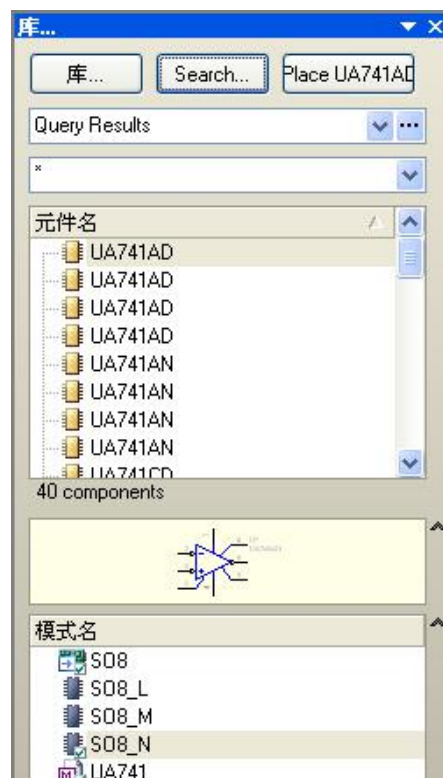


图 12 搜索到库元件后界面

域：name 器件名称；library 库；description 描述。

运算符：equals 等于，contains 包含。模糊搜索元器件时，选 contains。

值：在此填入元器件的型号，如 UA741。

范围：“可用库”是已经导入的库；“库文件路径”表示搜索左侧路径中指定位置处的库。

路径：设置搜索的元器件所在库的路径，注意该处“包含子目录”要打勾。

设置完毕后，在图 11 上点击【搜索】开始搜索库元件，搜到后如图 12 所示。双击元件或拖出元件，即可放置元件。双击放置在图纸上的 UA741，设置元件属性如图 13 所示，可以看到它位于 ST Operational Amplifier.IntLib 库中。



图 13 搜索到的元件属性图

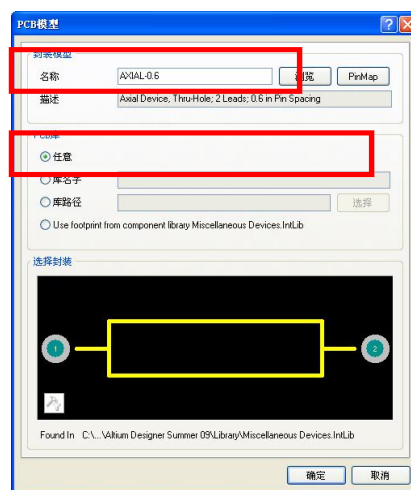


图 14 封装设置对话框

7. 绘制电路

1) 放置其他元件，修改元件属性。

2) 封装设置。点图 10 中的右下角“编辑”，弹出封装设置对话框如图 14 所示，勾选“任意”，并将电阻封装(Footprint)设置为 AXIAL-0.6。电容封装设置为 RAD-0.1，运放 UA741 封装设置为 DIP-8。

3) 放置电源和地。执行【放置 (Place)】→【电源端口 (Powerport)】，放置电源端口。点“Table”键（或放置到图纸上后双击电源），设置电源属性，将网络名称改为“+12V”，类型改为“Circle”，显示网络名打勾，如图 15 所示。地的网络名称改为 GND，类型改为 Power Ground，显示网络名不打勾。



图 15 电源端口属性设置对话框

4) 绘制导线 (Wire)、网络标号 (Netlabel) 等，完成电路的绘制。注意网络标号要放在导线上，不要放在空白的位置。

8. 生成材料清单。

1) 执行【报告 (Report)】→【Bill of Materials】，勾选“Comment”、“Description”、“Designator”、“Footprint”、“LibRef”、“Quantity”等选项，如图 16 所示。

2) 勾选“添加到工程”，点击“输出”，如图 16 所示。则生成了一个“积分器电路.xls”的文档，如图 17 所示。同时可以在盘符路径下看到这个文件如图 18 所示。

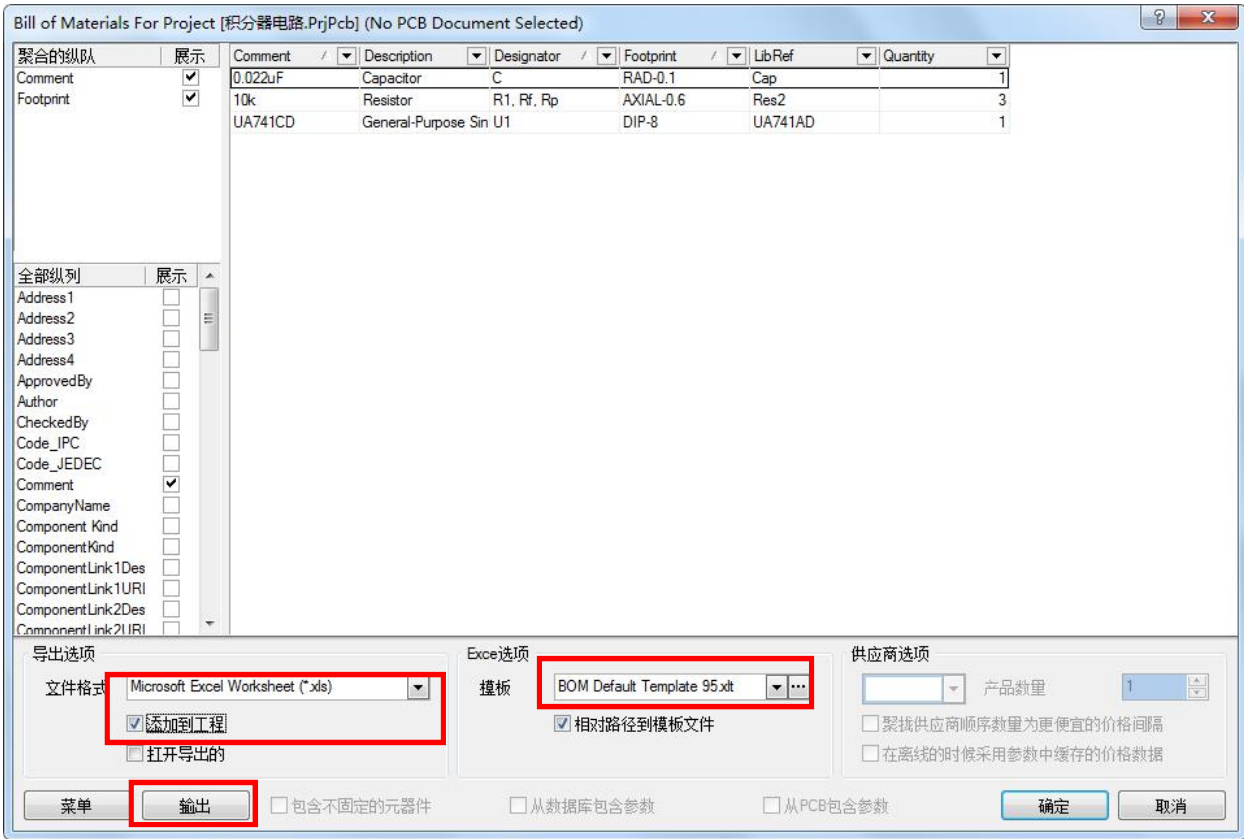


图 16 生成材料清单对话框

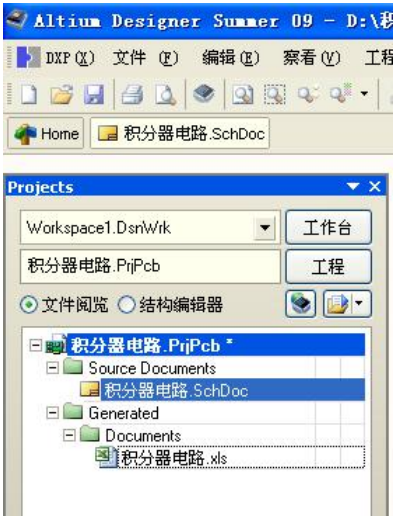


图 17 工程目录下的材料清单文件



图 18 盘符路径下的材料清单文件

四. 思考题

1.总结常用的快捷键

Ctrl+Pagedown	图纸充满屏幕
Ctrl+鼠标滚轮	放大缩小
P+P	放置元件
P+N	放置网络标号
P+W	放置导线
P+O	放置电源

2.包含“.PrjPcb”、“.PrjFpg”、“.SchDoc”、“.PcbDoc”、“.SchLib”、“.PcbLib”几种后缀名

文件分别代表什么文件？它们之间的关系是怎样的？

五. 附加实验

画出以下 RS232 接口电路图。

提示。输入输出端口：PORT；总线：BUS；总线入口：BUS ENTRY；D Connector 9（9 针 D 型插座）位于 Miscellaneous Connectors.IntLib 库；MAX3232EUE 运用搜索功能寻找。

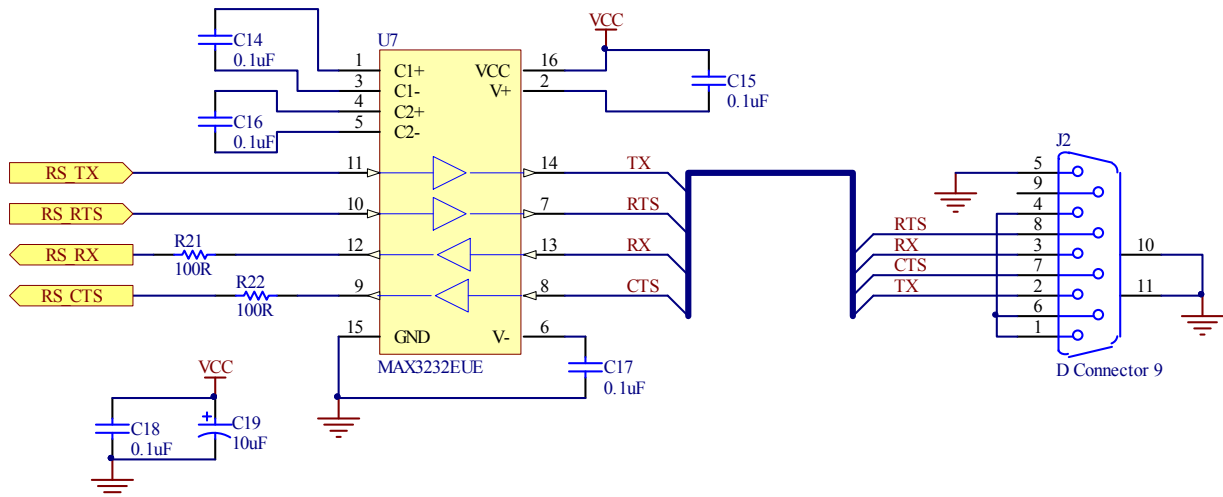


图 19 RS232 接口电路原理图

一. 实验目的

1. 掌握 PCB 设计流程，手动布局以及自动布线的方法；
2. 掌握根据元件尺寸设计 PCB 封装。
3. 理解生成 PCB 的方法以及布线规则的设置；
4. 了解 PCB 布局的方法。

二. 实验内容

设计图 1 所示“Double 12V DC Power”原理图的 PCB 板。

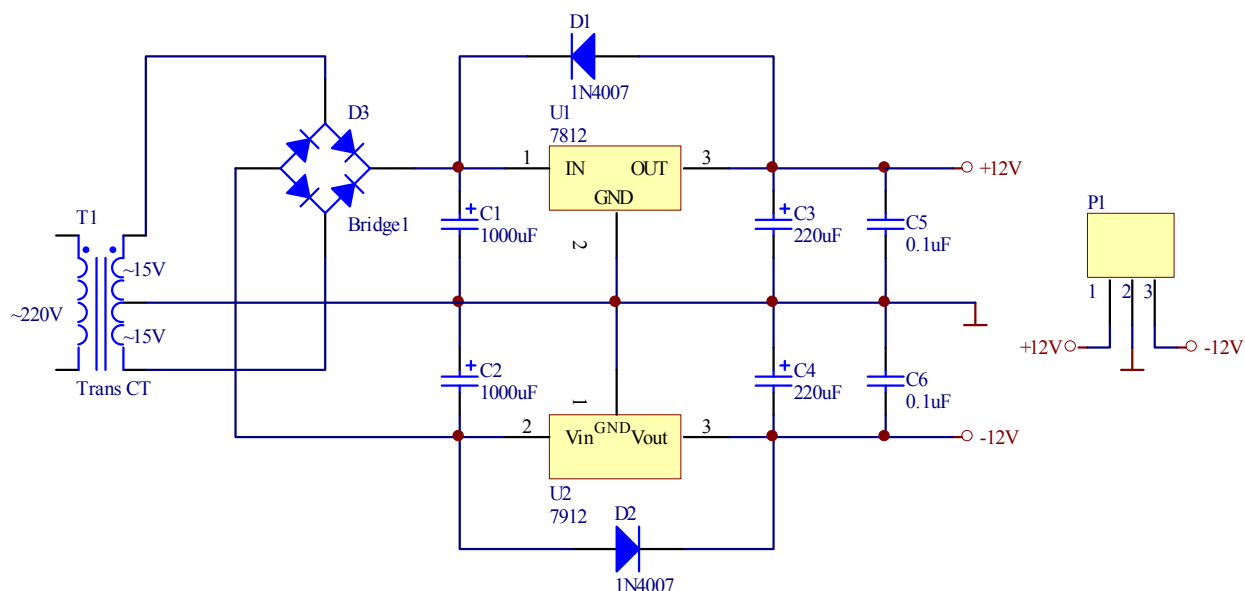


图 1 Double 12V DC Power 电路原理图

三. 实验步骤

1. 新建工程文件及完善原理图
 - 1) 执行菜单命令：【文件】-【新建】-【工程】-【PCB 工程】，新建一个 PCB 工程，保存为“Double 12V DC Power.PrjPcb”。
 - 2) 在“Double 12V DC Power.PrjPcb”点右键，点“添加现有的文件到工程”，选择原理图文件“Double 12V DC Power.SchDoc”、PCB 文件“Double 12V DC Power.PcbDoc”、原理图元件库文件“MySchlib1.SchLib”、封装库文件“PcbLib1.PcbLib”。将四个文件添加到工程中，如图 2 所示。

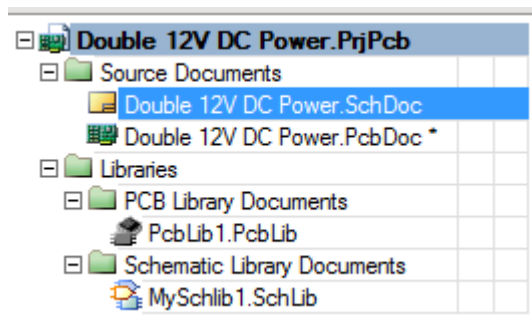


图 2 工程中几个文件的关系

- 3) 打开文件 MySchlib1.SchLib, 单击右下角【SCH】→【SCH library】, 调出 SCH library 面板如图 3 所示, 该库中已经默认添加了一个元件 component_1。元件如图 4 所示。



图 3 SCH library 面板图

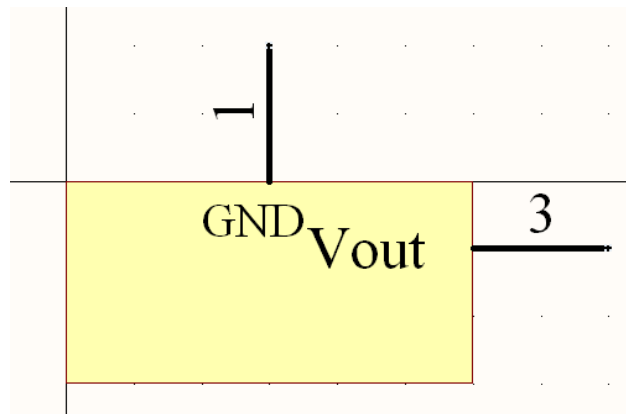


图 4 待完善的元件图

- 4) 点图 3 中的“编辑”，修改元件属性，元件编号（Default Designer）为 U?, 注释为 7912，元件物理名称（Symbol Reference）为 7912，如图 5 所示。



图 5 元件 7912 属性设置对话框



图 6 管脚属性修改

- 5) 执行菜单命令【放置】-【引脚】，将引脚放置在合适位置。双击引脚，修改管脚号为 2，管脚名为 Vin，长度修改为 200mil，如图 6 所示。
- 6) 单击图 3 中的“放置”，即可把该元件放置于电路图中，双击该元件，弹出“元件属性”对话框如图 7 所示。修改该元件编号为 U2，点击“添加-Footprint（封装）”，弹出“PCB 模型”对话框如图 8 所示，将封装名改为 221A-04。

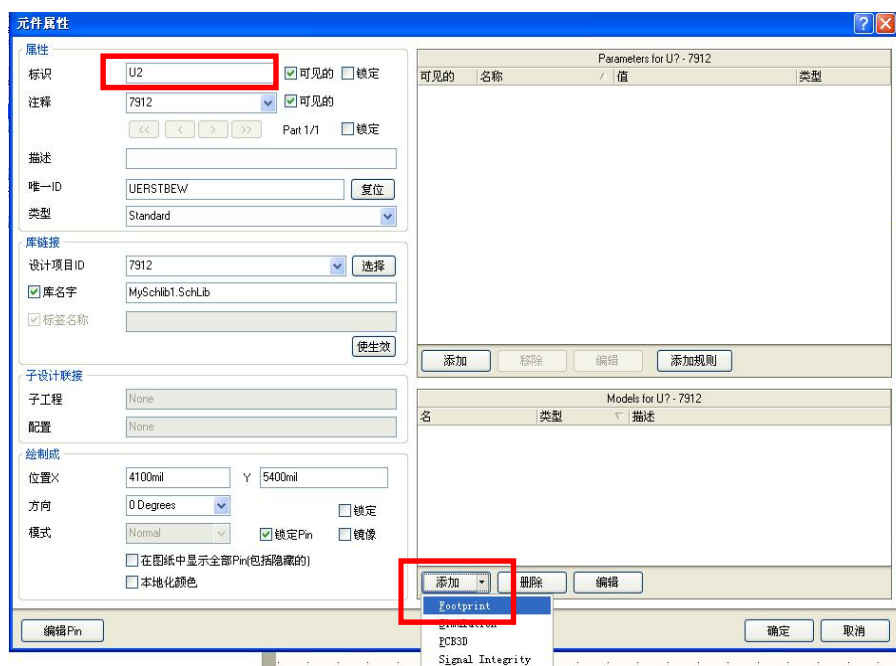


图 7 7912 属性设置对话框



图 8 7912 封装设置

注意：如果图 8 没有图形预览，则是因为没有安装封装所在的库，则可在库面板图中点“搜索”，搜索封装 221A-04，如图 9 所示。搜索到封装 221A-04 如图 10 所示，再把该封装所在的库进行安装即可。

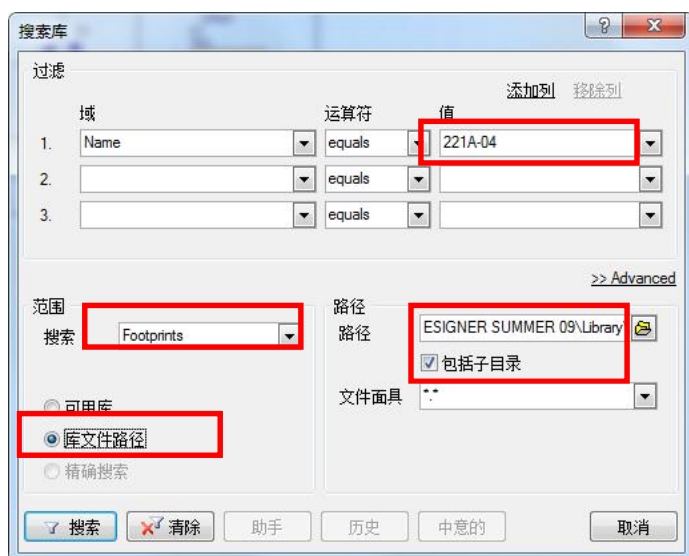


图 9 搜索封装

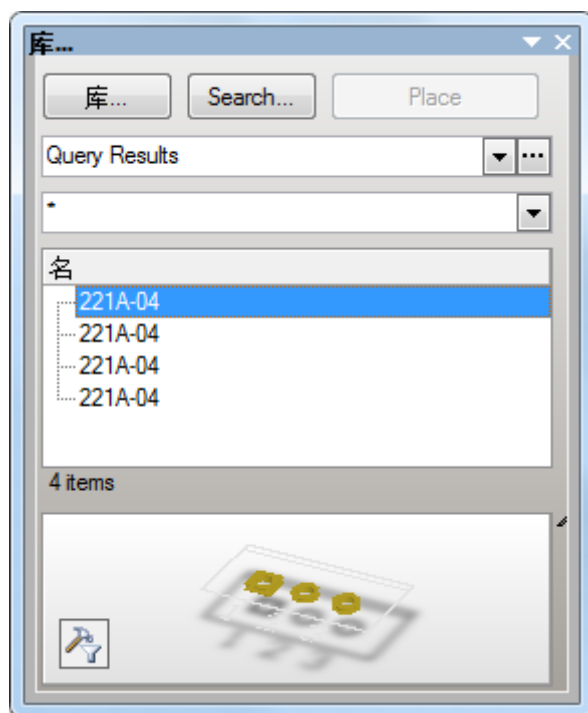


图 10 搜索封装结果

7) 在原理图中放置电源接线端子 P1。该元件物理名称（样本名）为 Header 3，位于

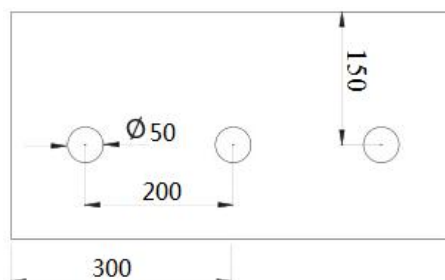
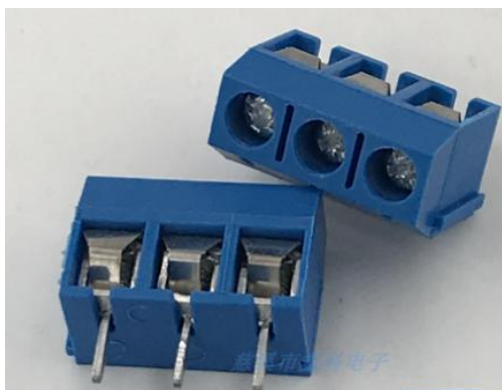
Miscellaneous connectors.IntLib 集成库中，封装设置为 XK301-5.08，该封装稍后由自建封装库文件提供。

- 8) 观察是否所有元件都设置有封装，若未添加封装或封装不符合表 1，请按表 1 添加或修改封装。至此，原理图修改完毕。

表 1 元件封装设置

元件类别	封装	所在库
变压器	TRF_5	Miscellaneous Devices.IntLib
整流桥	E_BIP_P4/D10	Miscellaneous Devices.IntLib
电解电容	RB5-10.5	Miscellaneous Devices.IntLib
无极性电容	RAD-0.1	Miscellaneous Devices.IntLib
二极管	DIODE-0.4	Miscellaneous Devices.IntLib
三端稳压器	221A-04	用搜索功能寻找
三端接线端子	XK301-5.08	自建封装库文件 PcbLib1. PcbLib

2. 完善 PCB 库文件



单位：mil

图 11 XK301-5.08 螺钉式接线端子及 PCB 封装示意图

三端接线端子 P1 采用螺钉式接线端子，采用 XK301-5.08 封装模式，如图 11 所示，该封装采用自建封装库文件编辑。

- 1) 打开 PCB 库文件 “PcbLib1. PcbLib”,并点左下角标签“PCB Library”，可见，此文件中已有一个封装，名为“PCBCOMPONENT_1”，如图 12 所示。

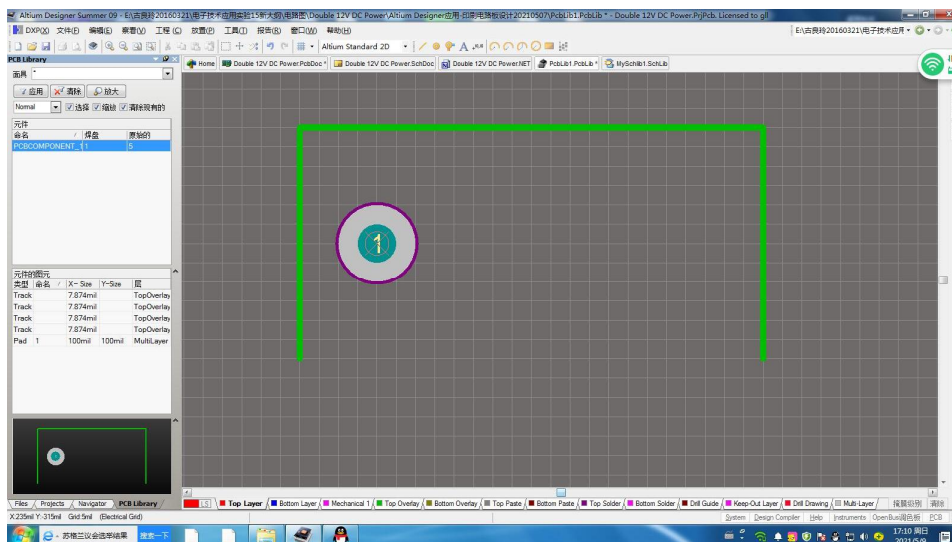


图 12 待完善的封装库文件

2) 执行菜单命令:【工具】-【元件属性】, 打开 PCB 元件属性对话框, 将封装名称修改为 XK301-5.08, 如图 13 所示。

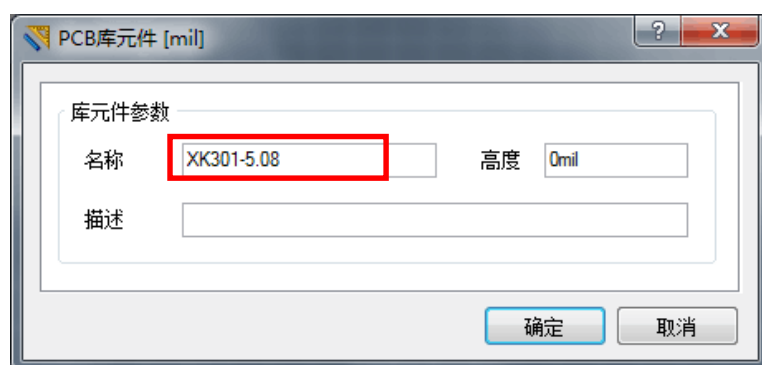


图 13 修改封装名称

3) 点图 12 下方层标签“Top Overlay”, 执行菜单命令:【放置】-【走线】, 按照图 11 所示 PCB 示意图画完 PCB 轮廓。

4) 执行菜单命令:【放置】-【焊盘】, 按照图 11 所示尺寸放置焊盘 2 和焊盘 3 到正确位置。双击焊盘, 打开焊盘属性对话框, 修改焊盘的直径、焊盘通孔直径和焊盘号, 如图 14 所示。

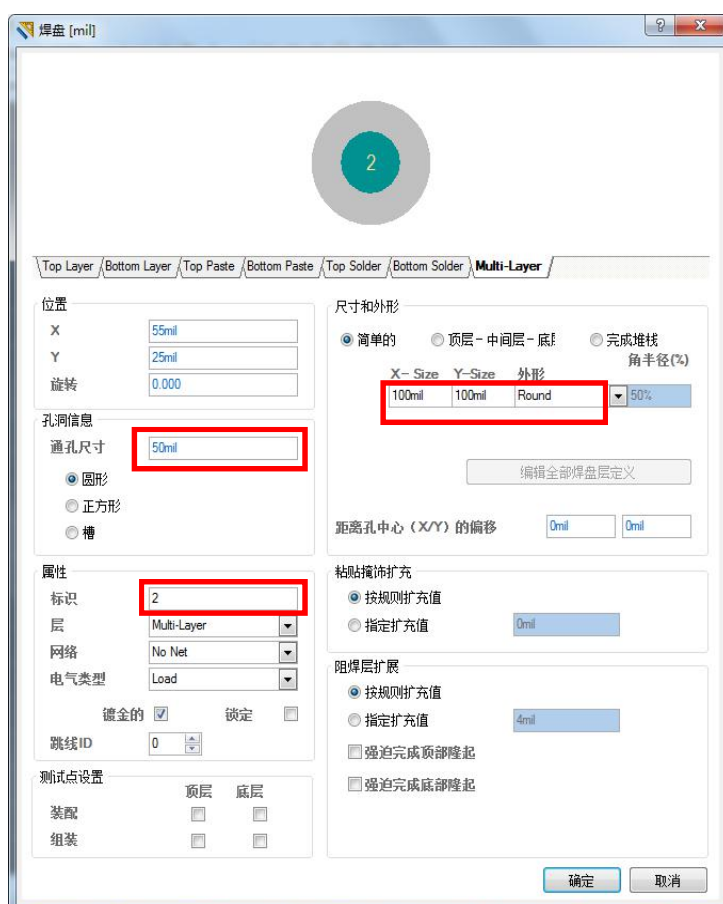


图 14 焊盘属性设置

5) 保存文件, 完善后的封装如图 15 所示。

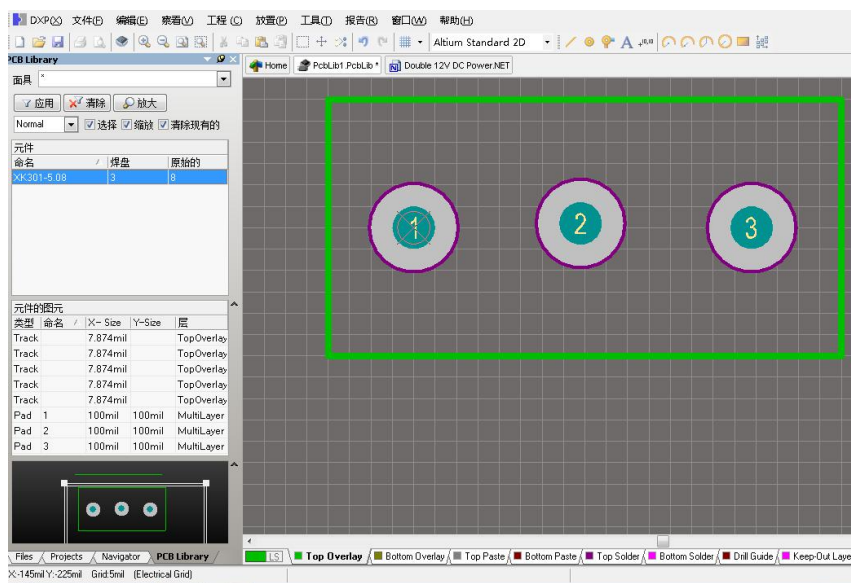


图 15 完善后的封装

2. 设计 PCB 文件

- 1) 打开 PCB 文件 “Double 12V DC Power. PcbDoc”。PCB 文件下方有很多层标签如图 16 所示。层可以隐藏，在层标签上单击右键，选 “Hide”，即可隐藏当前层。留下 Top Layer（顶层）、Bottom Layer（底层）、Mechanical 1 Layer（机械 1 层）、Top Overlay（顶层丝印层）、Bottom Overlay（底层丝印层）、Keepout Layer（禁止布线层）、MultiLayer（多层），其余层隐藏。



图 16 层标签

- 2) 绘制 PCB 板的电气边界和物理边界。

- ① **设置原点**：执行菜单命令【编辑】-【原点】-【设置】，单击图纸的某一位置，即把该点设置为原点；
- ② **电气边界**：单击编辑区左下方的板层标签 Keep out Layer 标签（将其设置为当前层）。然后，执行菜单命令【放置】-【禁止布线】-【线径】，光标变成十字形，在 PCB 图上绘制出一个封闭的多边形，即可设定电气边界。
- ③ **物理边界**：单击编辑区左下方的板层标签的 Mechanical 1 标签（将其设置为当前层）。然后，执行菜单命令【放置】-【走线】，光标变成十字形，沿 PCB 板边绘制一个闭合区域，即可设定 PCB 板的物理边界。
- ④ **定义板子外形**：执行菜单命令【设计】-【板子形状】-【重新定义板子外形】，重新设定 PCB 板形状，设置完成的 PCB 图如图 17 所示，其中内框为电气边界，外框为物理边界。

在定义边界时，可以把其中一个点作为原点 (0, 0)，再根据要求算出其他 7 个点的坐标，画线时定义线的起点和终点，则可准确定义出其大小。

注意：提供的文件中，大部分边界已定义好，只需完善部分边界即可。

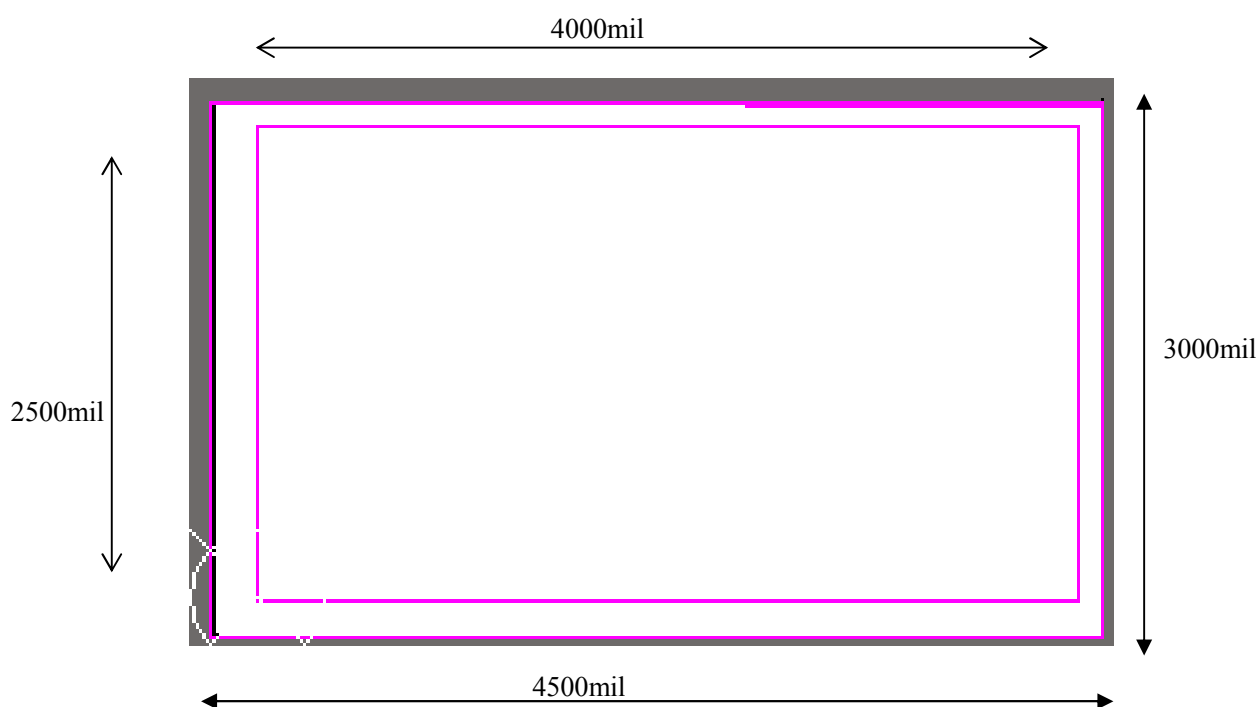


图 17 PCB 板电气边界和物理边界设置

3) 生成网络报表并导入 PCB 中。

在原理图编辑环境中，执行菜单命令【设计】-【文件的网络表】-【Protel】，生成网络报表如图 18 所示。网络表由元件声明和网络连接关系组成。执行菜单命令【设计】-【Update PCB Document Double 12V DC Power.PcbDoc】，系统将弹出“工程更改顺序”对话框，如图 19 所示。

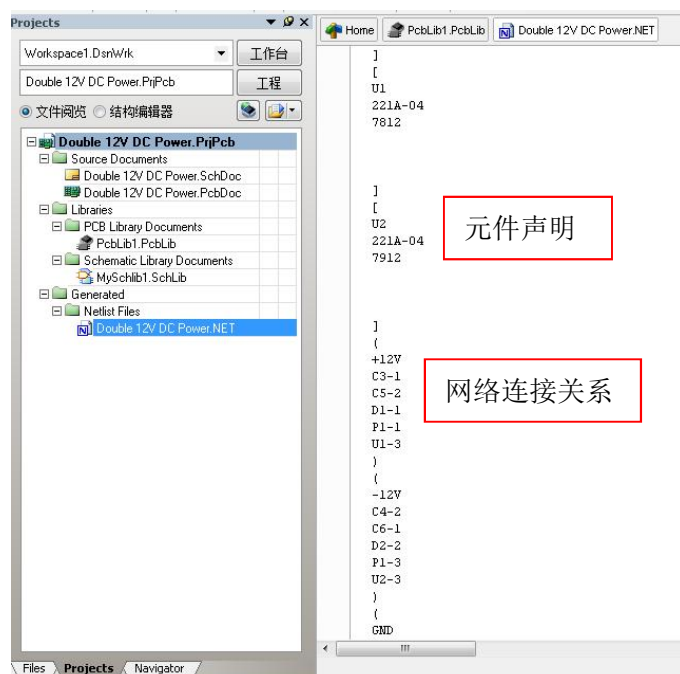


图 18 原理图生成的网络表

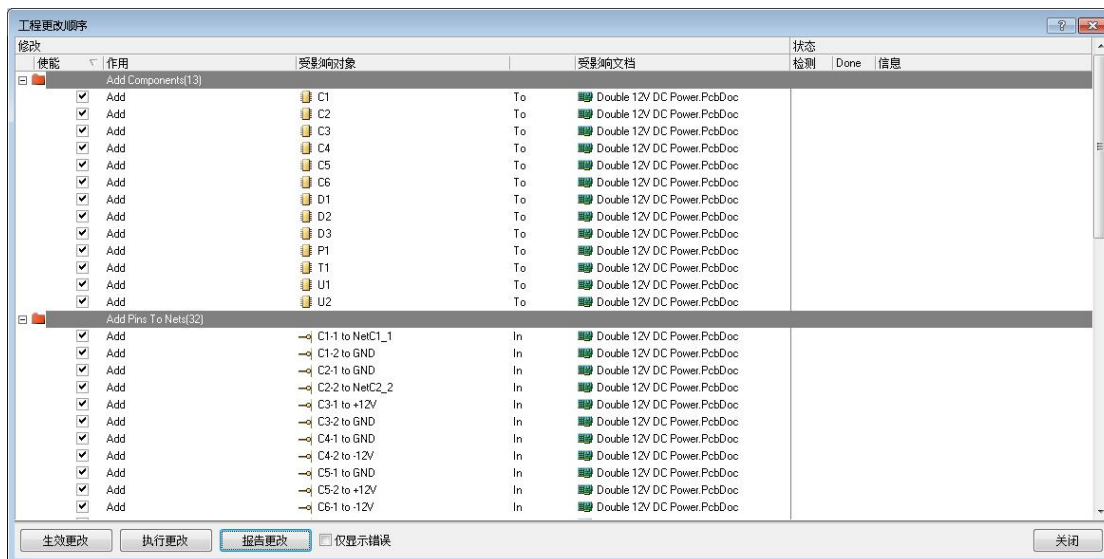


图 19 工程更改顺序对话框

- 4) 单击图 19 对话框中的“生效更改”，检查所有改变是否正确，若所有的项目后都出现✅标志，则项目转换成功。
- 5) 单击“执行更改”按钮，将元器件封装添加到 PCB 文件中。完成添加后，关闭对话框。此时，在 PCB 图上已经有了元器件的封装，如图 20 所示。

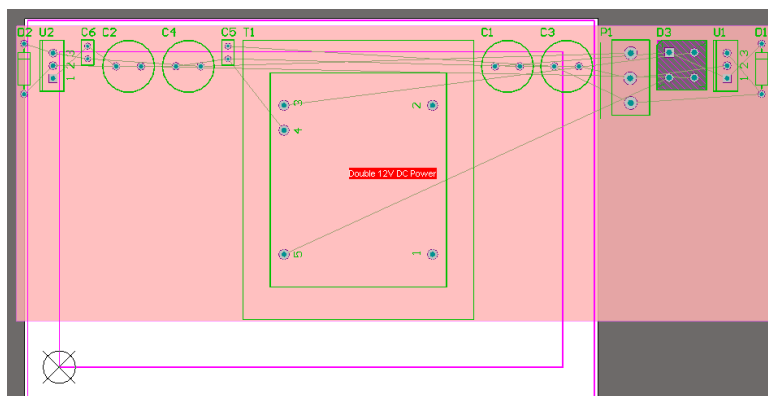


图 20 添加到 PCB 文件的元件封装

3. 元器件布局

- 1) 将元件屋整体拖至 PCB 板的上面，删除元件屋，对布局不合理的地方进行手工调整，整流桥后的元件要基本对称，文字方向调整一致。调整后的 PCB 图如图 21 所示。

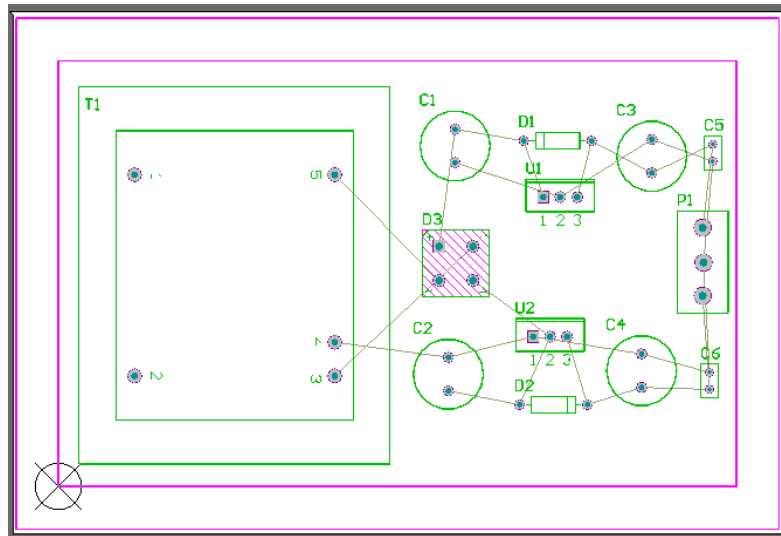


图 21 手工调整后的 PCB 图

- 2) 执行菜单命令【工具】-【传统工具(Legacy Tool)】-【传统 3D 显示(Legacy 3D View)】，查看 3D 效果图，检查布局是否合理，如图 22 所示。

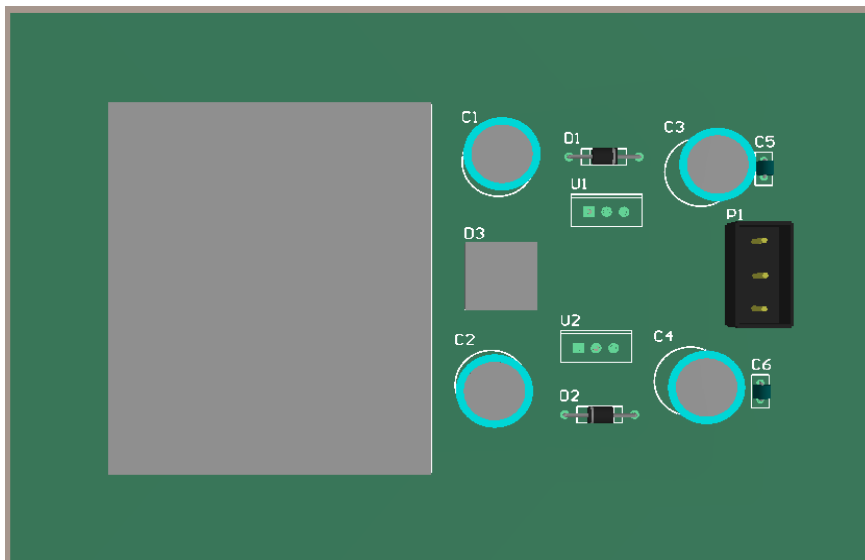


图 22 3D 效果图

4. 布线

1) 设置布线规则。

执行菜单命令：【设计】-【规则】，弹出“PCB 规则及约束编辑器”对话框。这里有很多布线规则。本项目只设置“Routing”布线层、“Width Constraint”布线宽度。

- ① 单面板设置。点 Routing-Routing Layers-RoutingLayers, 默认是两个层都允许布线，将 TopLayer 的 ☒ 去掉，不允许布线。如图 23 所示。

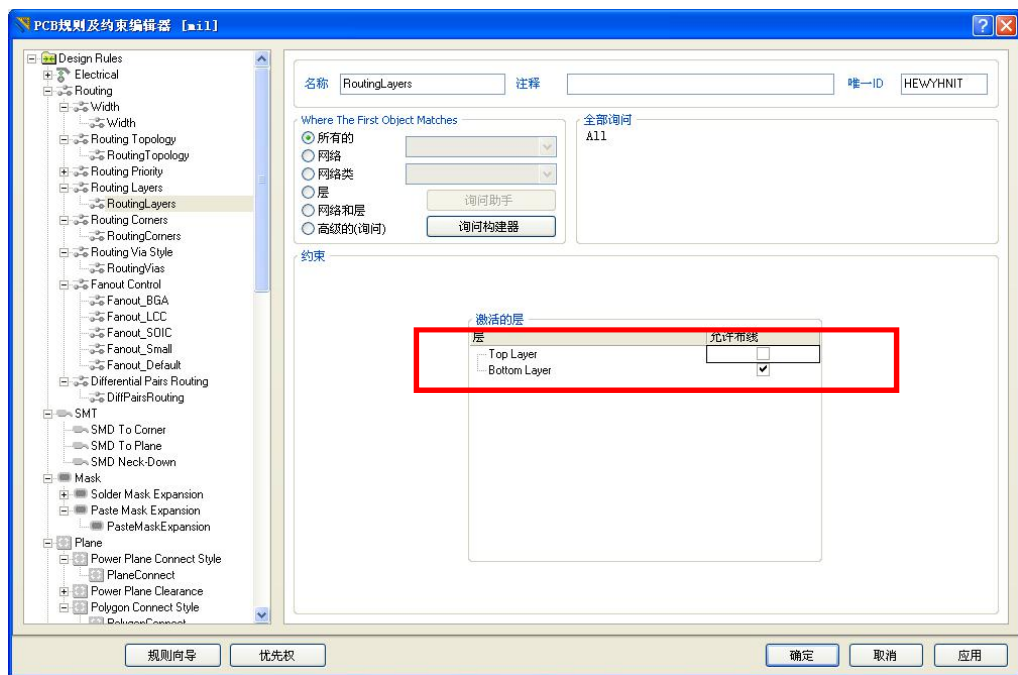


图 23 单面板设置

- ② 布线宽度设置。在 Routing-Width-Width 中，设置普通铜模导线的宽度为最小 20，首选 20，最大 40，如图 24 所示。

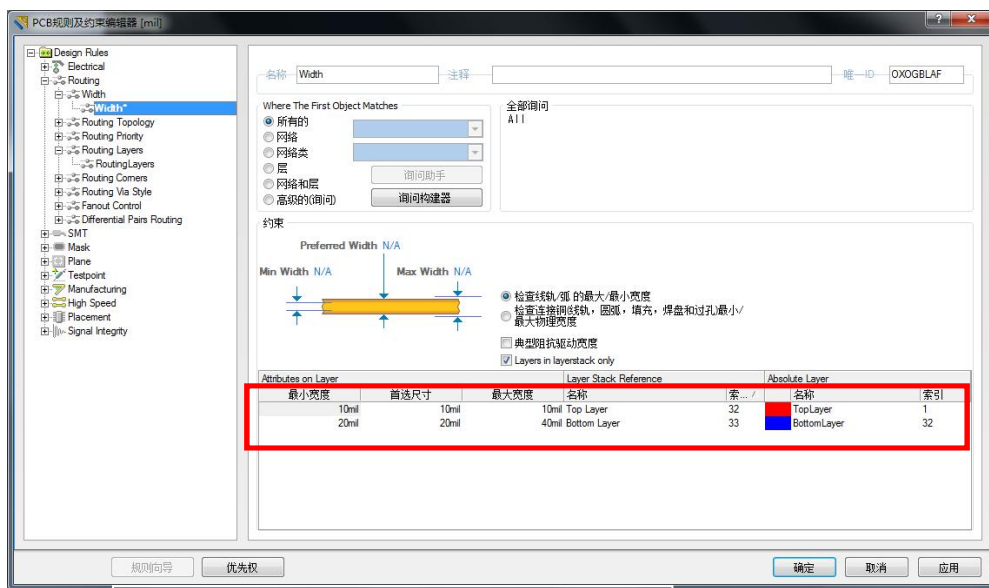


图 24 普通导线线宽设置

在 Width 上右击，选“新规则”，则可设置新规则，改规则名称为 Width_GND，选择网络 GND,设置其在底层的宽度为最小 20，首选 50，最大 50，如图 25 所示。

运用同样的方法，设置网络+12V 在底层的宽度为最小 20，首选 40，最大 40；设置网络-12V 在底层的宽度为最小 20，首选 40，最大 40。

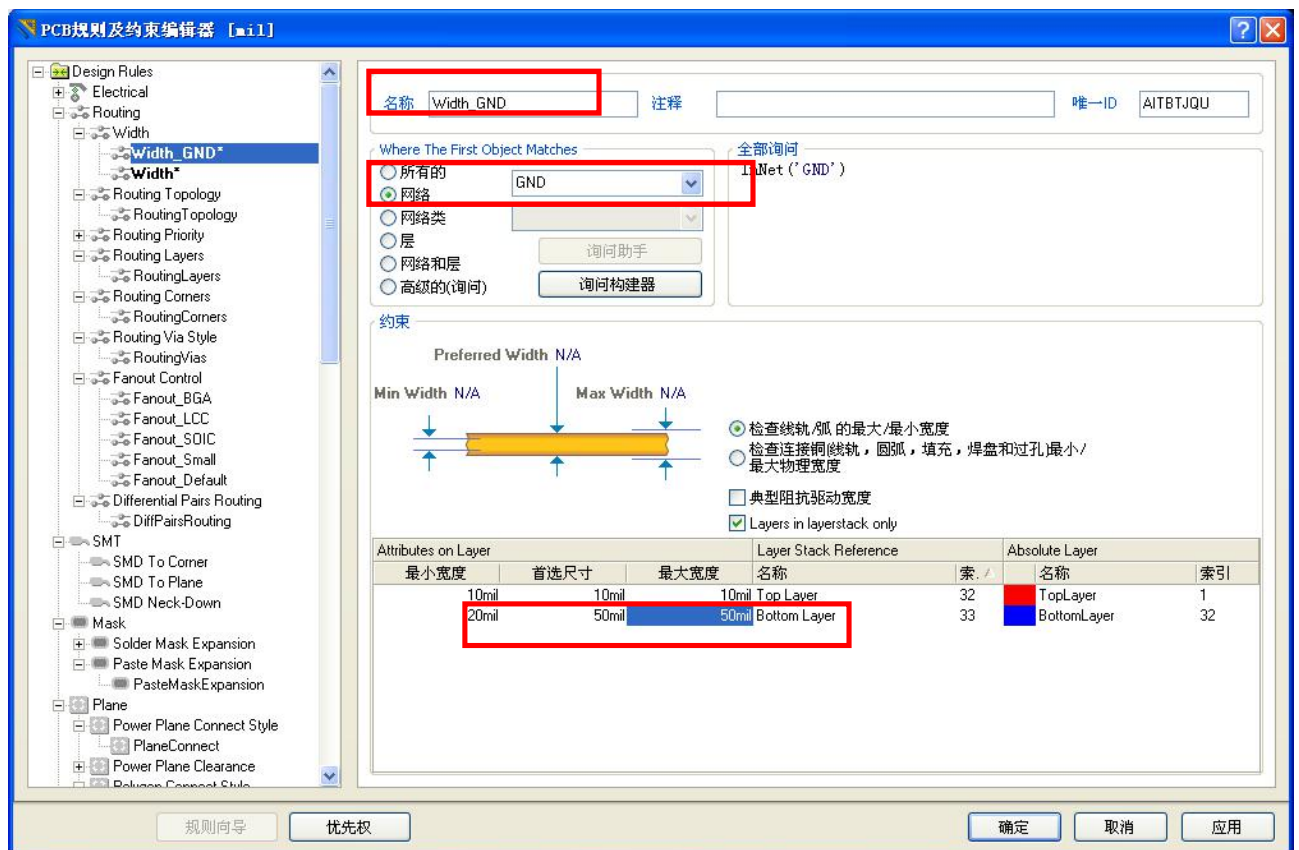


图 25 网络 GND 线宽设置

四个线宽规则设置完成之后，其线宽规则如图 26 所示。点左下角“优先权”，弹出“编辑规则优先权”对话框如图 27 所示，即可调整各个规则的优先权。调整其优先权如图 28 所示。

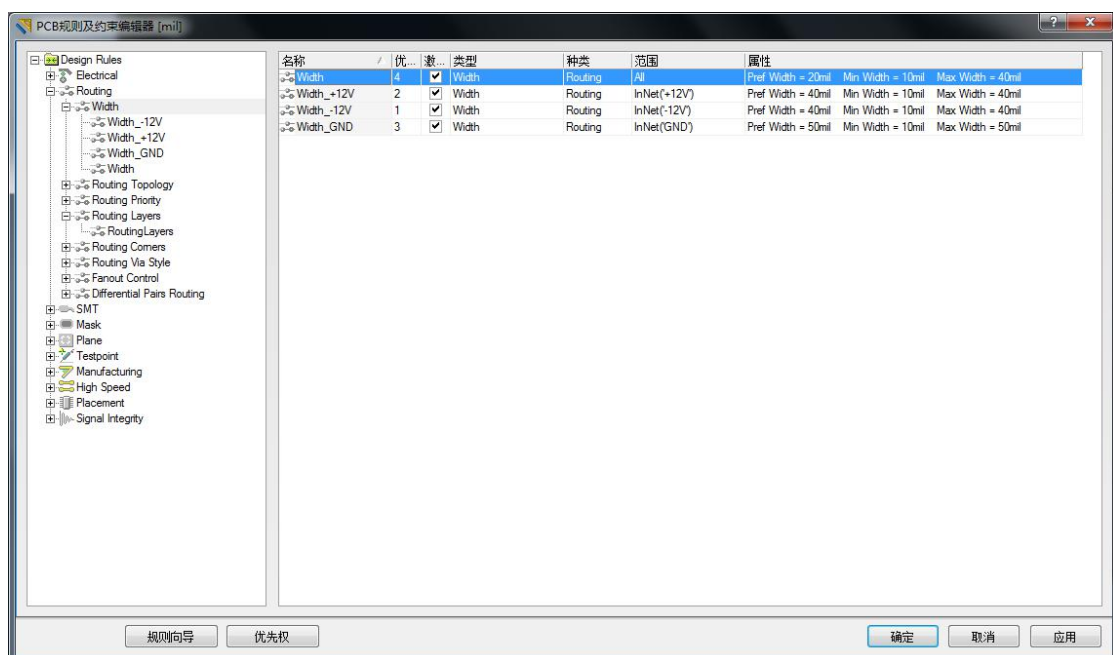


图 26 所有线宽设置

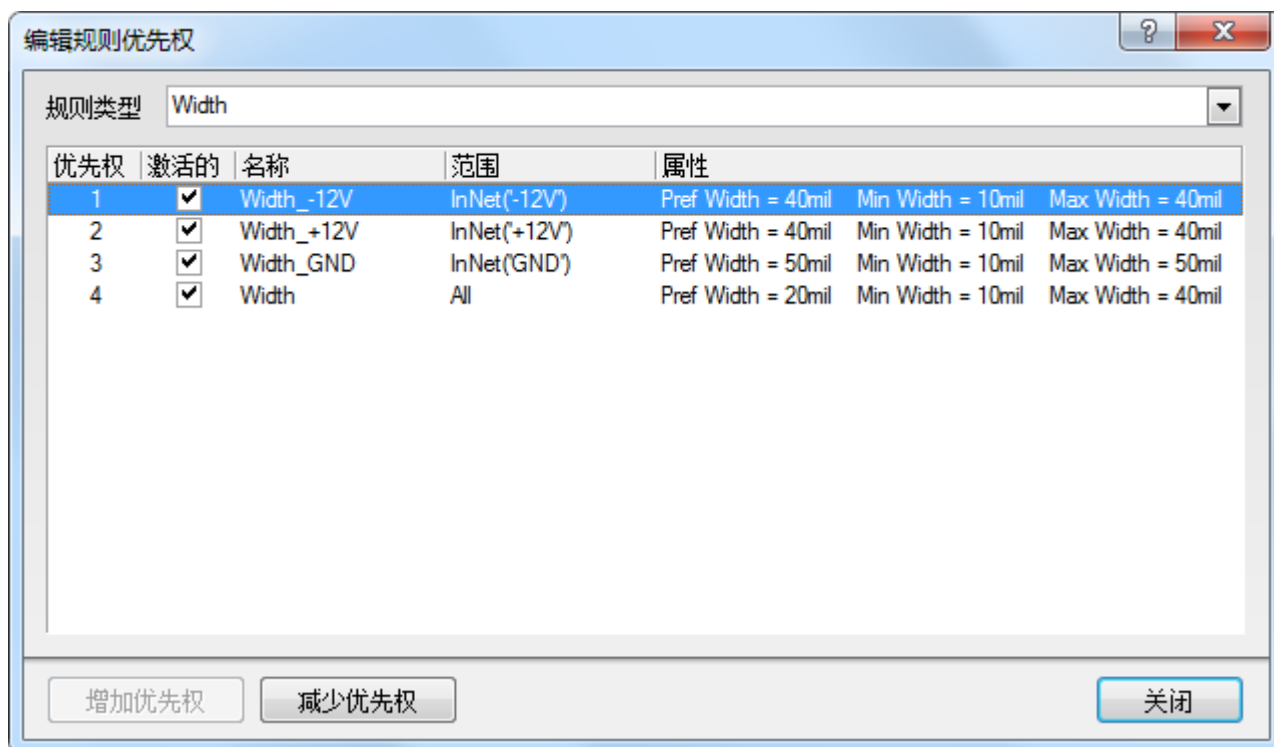


图 27 线宽设置优先级调整前

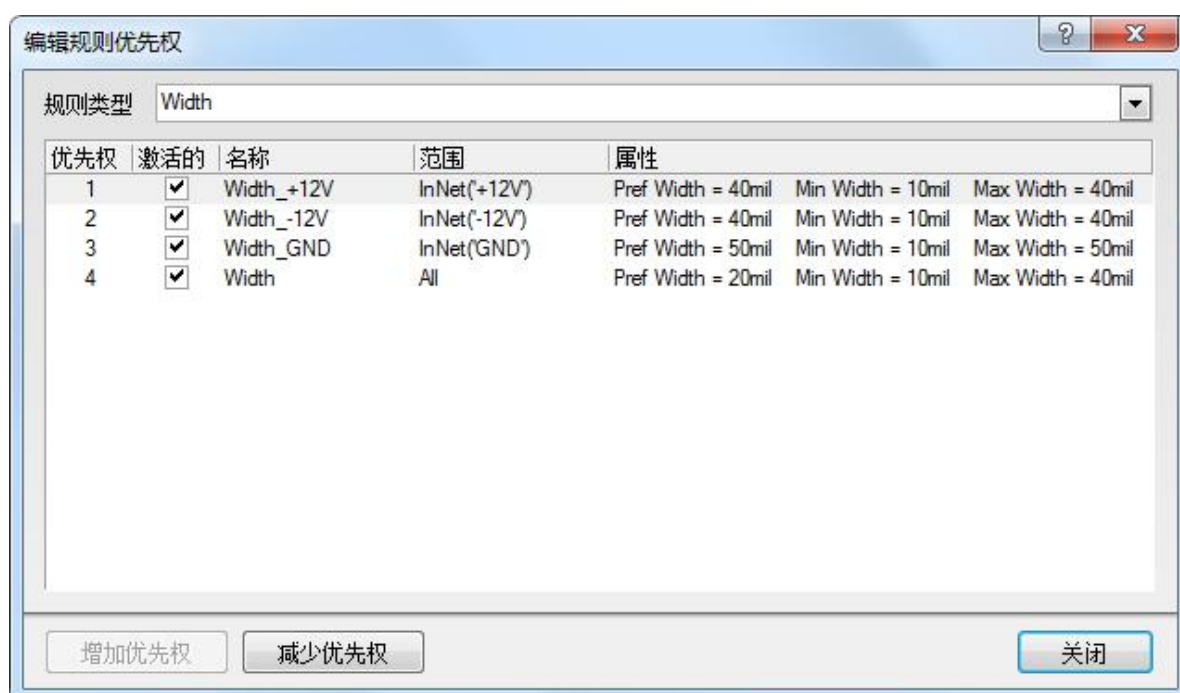


图 28 线宽设置优先级调整后

2)布线。布线分为手动布线和自动布线，可以两者结合来完成布线。

①手动布线。切换到 Bottom Layer，执行菜单命令【放置】-【Interactive Routing】，即可手动布线。布线完成后，飞线消失，铜膜导线上有网络名。

②自动布线。设置完成后，执行菜单命令【自动布线】-【全部】-【Route All】，系统开始自动布线，并同时出现一个 Message 布线信息对话框，如图 29 所示。

- ③ 取消布线。如果对布线不满意，可以取消布线，再重新布线。方法是：执行菜单命令【工具】-【布线】-【全部】。

Messages						
Class	Document	Source	Message	Time	Date	No.
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Routing Started	9:22:17	2021/5/10	1
Routing S...	Double 12V DC Po...	Situs	Creating topology map	9:22:17	2021/5/10	2
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Starting Fan out to Plane	9:22:17	2021/5/10	3
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Completed Fan out to Plane in 0 Seconds	9:22:17	2021/5/10	4
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Starting Memory	9:22:17	2021/5/10	5
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Completed Memory in 0 Seconds	9:22:17	2021/5/10	6
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Starting Layer Patterns	9:22:17	2021/5/10	7
Routing S...	Double 12V DC Po...	Situs	Calculating Board Density	9:22:17	2021/5/10	8
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Completed Layer Patterns in 0 Seconds	9:22:17	2021/5/10	9
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Starting Main	9:22:17	2021/5/10	10
Routing S...	Double 12V DC Po...	Situs	Calculating Board Density	9:22:17	2021/5/10	11
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Completed Main in 0 Seconds	9:22:18	2021/5/10	12
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Starting Completion	9:22:18	2021/5/10	13
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Completed Completion in 0 Seconds	9:22:18	2021/5/10	14
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Starting Straighten	9:22:18	2021/5/10	15
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Completed Straighten in 0 Seconds	9:22:18	2021/5/10	16
Routing S...	Double 12V DC Po...	Situs	25 of 25 connections routed (100.00%) in 0 Seconds	9:22:18	2021/5/10	17
Situs Event	Double 12V DC Po...	Situs	Routing finished with 0 contentions(s). Failed to complete 0 connection(s) in 0 Seconds	9:22:18	2021/5/10	18

图 29 布线信息对话框

布线完成后的电路图如图 30 所示。

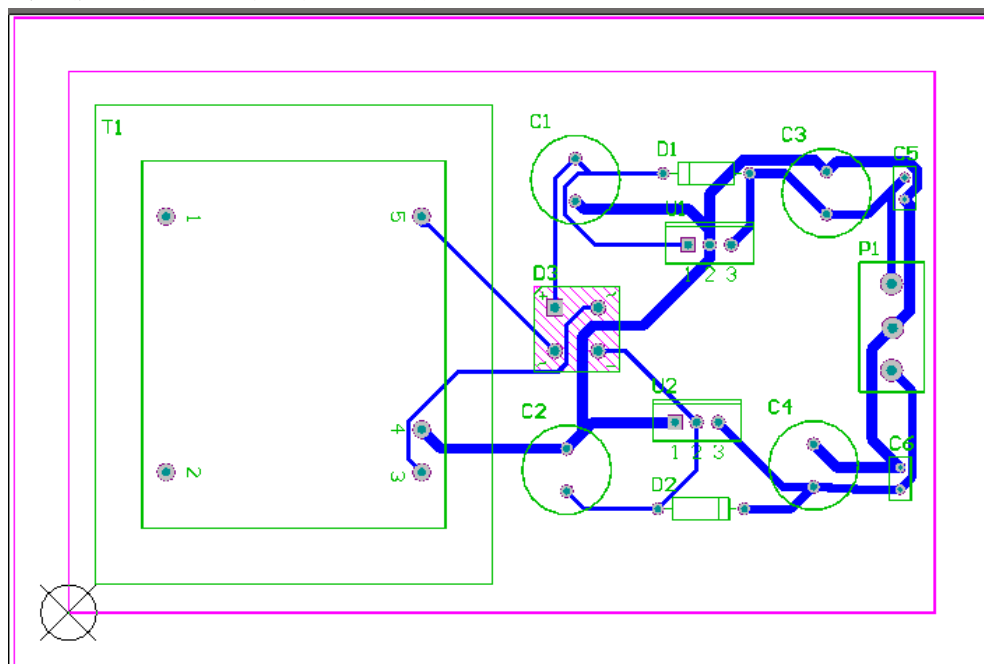


图 30 自动布线后的 PCB 图

5. 添加泪滴。

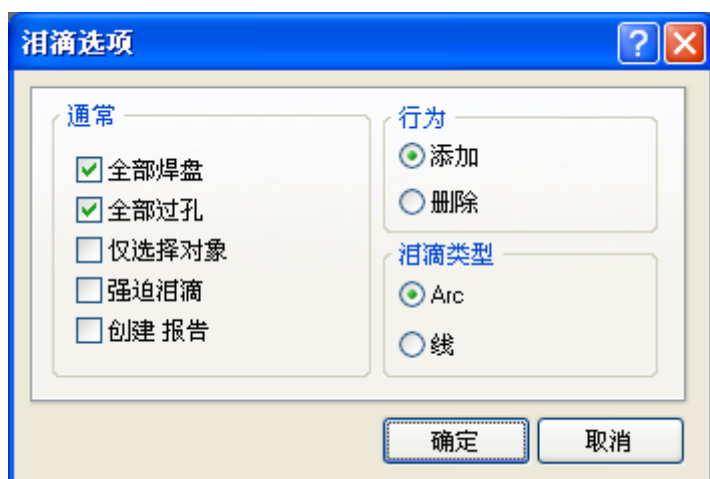


图 31 添加泪滴

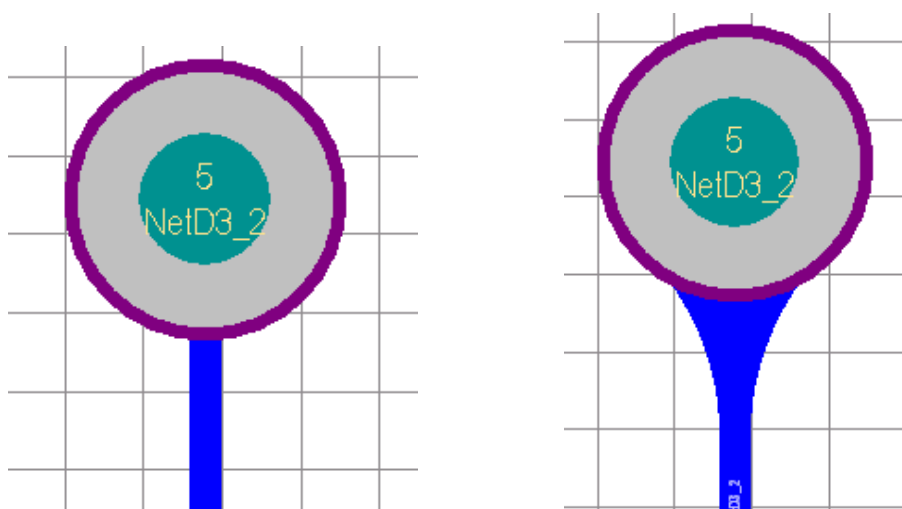


图 32 添加泪滴前后的焊盘对比图

选择菜单命令【工具】-【泪滴...】，系统弹出“泪滴选项”对话框，如图 31 所示。单击“确定”按钮，对焊盘和过孔添加泪滴，添加泪滴前后的焊盘如图 32 所示。

6. 添加敷铜。

选择“Bottom Layer”作为当前层。选择菜单命令【放置】-【多边形敷铜】，在弹出的“多边形敷铜”对话框中选择“Hatched[Track/Arcs]影线化填充”，连接到底层的网络 GND，如图 33 所示，点“确定”。在底层绘制一个封闭的区域，即可添加敷铜，如图 34 所示。



图 33 添加敷铜对话框

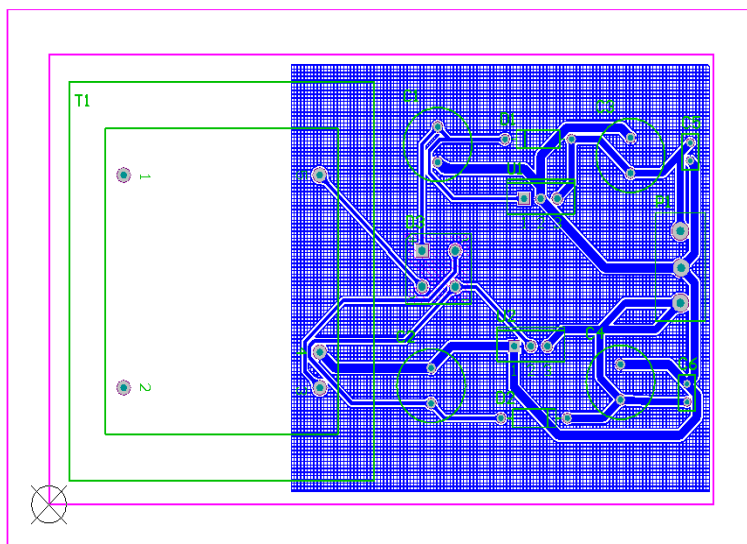


图 34 添加敷铜后的 PCB 图

四. 思考题

1. 如何设置布线规则？
2. 简述 PCB 板设计的流程。

声控开关

实验目的

1. 学习音频放大电路的测试。
2. 学习单稳态触发器在声控开关中的作用。
3. 学习双稳态电路的测试。
4. 学习音频信号的放大及其在开关控制电路中的应用。
5. 了解用继电器实现弱电控制强电回路的方法。

实验设备及材料

1. 装有 Multisim 12 的计算机
2. 函数信号发生器
3. 双踪示波器
4. 数字万用表
5. 面包板
6. 芯片 CD4001；三极管 9013 \times 4；二极管 1N4148 \times 2；电阻 1K \times 2、4.7K \times 6、10K \times 5、1M \times 2；电容 0.1uF(104) \times 5、1uF(105)；发光二极管；驻极体话筒（带引脚，9 \times 7mm）

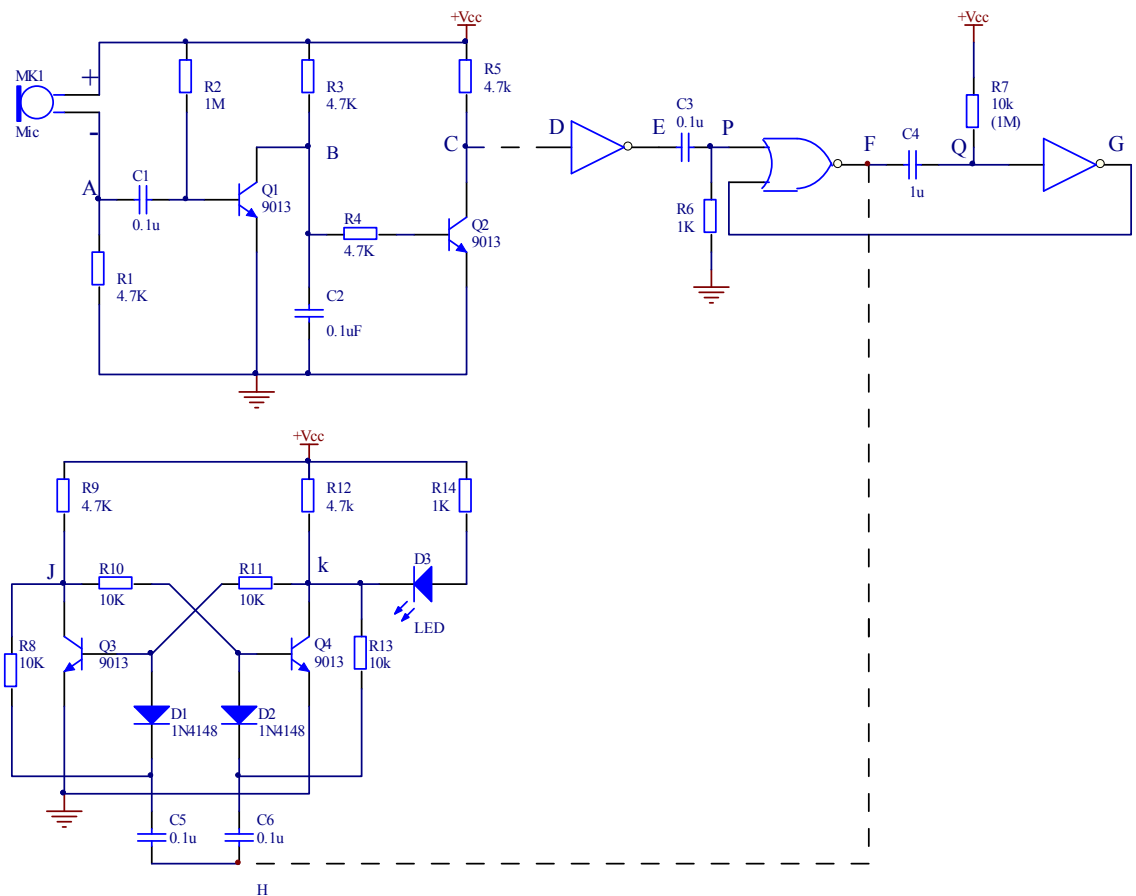


图 1 声控开关实验线路图

实验原理

声控开关电路原理图如图 1 所示，包括音频两级放大电路、单稳态触发器和双稳态触发器。

1. 音频两级放大电路

Q1 和 Q2 组成音频两级放大电路，由话筒 MK1 接收的音频信号经 C1 耦合至 Q1 的基极，在 Q1 集电极得到的放大后的信号；放大后的信号由集电极直接馈至 Q2 的基极，由 Q2、R4、R5 组成二级放大电路。无音频信号输入时，B 点电压低于三极管的导通电压，Q2 截止，C 点为高电平；接收到音频信号时，B 点电压高于三极管的导通电压，Q2 导通，C 点电压下降。因此在 Q2 的集电极得到一负脉冲信号，用来触发单稳态电路。音频信号的频率范围为 20Hz 到 20kHz，本实验通过 R1、C1 将电路频响限制在 3kHz 左右的高灵敏度范围。

2. 单稳态触发器

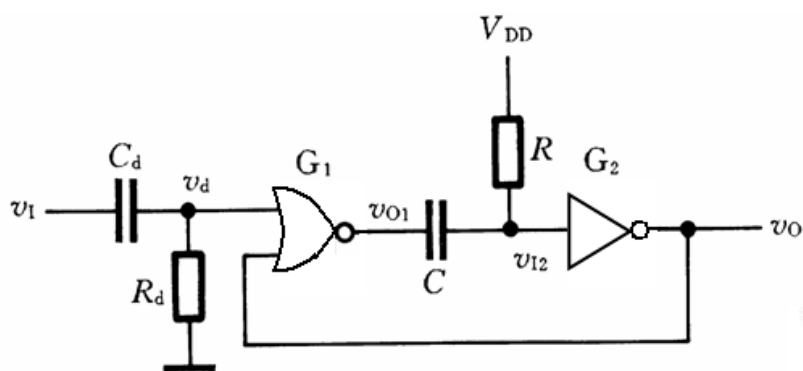


图 2 单稳态触发器原理图

没有触发器电平时， v_i 为低电平， v_o 为低电平， v_{o1} 为高电平。为稳态。

在 t_1 时刻，当 v_i 正跳变时， v_{o1} 由高到低， v_{12} 为低电平。于是 v_o 为高电平。即使 v_i 触发器信号撤除，由于 v_o 的作用， v_{o1} 仍可为低电平。进入暂稳态。

暂稳态期间，电源经电阻 R 和门 G_1 对电容 C 充电， v_{12} 升高，当 $v_{12}=V_{TH}$ 时 (t_2 时刻)， v_o 下降， v_{o1} 上升，但使 v_{12} 再次升高，最终 $v_{o1}=1$ ， $v_o=0$ 。回到稳态。

3. 双稳态触发器

电源接通时，假设 Q4 集电极 (K 点) 为高电平，Q3 集电极 (J 点) 为低电平，则 Q3 导通，Q4 截止，Q3 的基极为 0.7V (理想值)，D1(-) 为 0V (理想值)，D2(-) 为 5V (理想值)。其各点波形如图 4 所示。

在 t_1 时刻，当 H 点下降沿到来时，D1(-) 变为 -5V (0V-5V)，D2(-) 变为 0V (5V-5V)，由于 D1 维持导通，压降为 0.7V，D1(+) 为 -4.3V，也就是说 Q3 基

单稳态触发器是用 CMOS 门电路和 RC 微分电路构成的微分型单稳态触发器，如图 2 所示。通常阈值电压 $V_{TH} \approx 1/2V_{CC}$ ，暂稳态时间由 R 和 C 组成的时间常数决定，通常 $t_w \approx 0.69RC$ ，其各点的波形如图 3 所示。

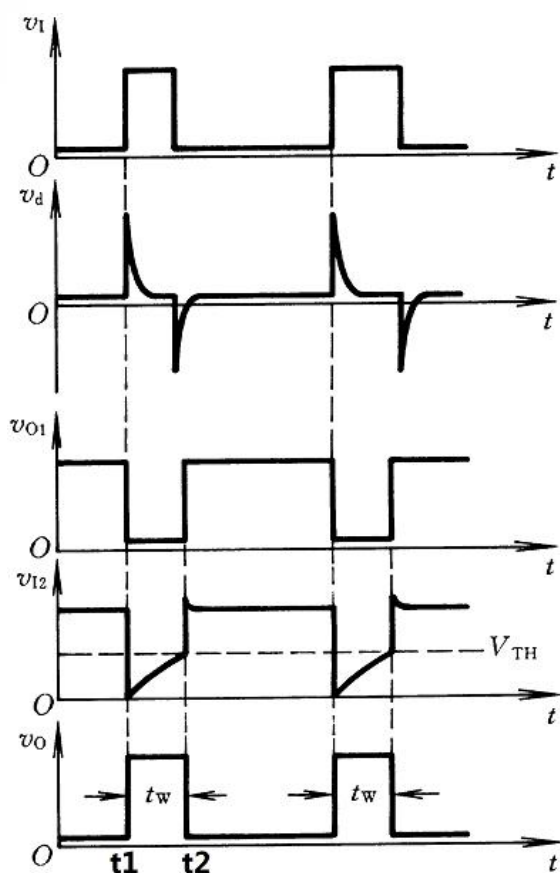


图 3 单稳态触发器各点波形图

极变成负电压($-5V+0.7V=-4.3V$)，Q3 立刻截止（因为基极电位小于发射极电位），Q3 集电极（J 点）翻转，变成高电平，Q4 导通，Q4 集电极（K 点）电压变为低电平，实现翻转。D1(-)变为高电平，D2(-)变为低电平。

在 t_2 时刻，当 H 点上升沿到来时，因电容两端电压差不能突变，D1、D2 阴极端都在原来的基础上加 5V，因此 D1、D2 都不导通，不改变两个三极管基极电位，不实现翻转。D2 阴极端电压为 10V，通过 R13 传递给 K 点，所以 K 点电位瞬时升高，会有一个高于 5V 的尖峰脉冲出现。

在 t_3 时刻，当 H 点下降沿到来时，与 t_1 时刻 D1 作用相同，D2 的负尖峰脉冲使得电路再次发生翻转。

再看一下 R8 的作用。在 t_1 时刻，当 Q3 截止而 Q4 尚未导通前的这段时间，Q3 集电极(J 点)通过 R8 向电容 C5 充电，Q4 集电极（K 点）也通过 R11 和 D1 这条支路向电容 C5 充电，但比前一条支路的充电速度慢。所以前一条支路迅速使得 D1 截止，防止 Q3 基极电压升高而重新导通。R13 的作用同 R8 相同。

图 5 为继电器实验电路板电路图，是由弱电控制强电的一种方式，光耦起一个隔离的作用，把弱电和强电分开，具有良好的电绝缘能力和抗干扰能力。当 IN1 输入低电平时，Q1 导通，继电器线圈通电，常开触点闭合，白炽灯发光，反之则不发光。

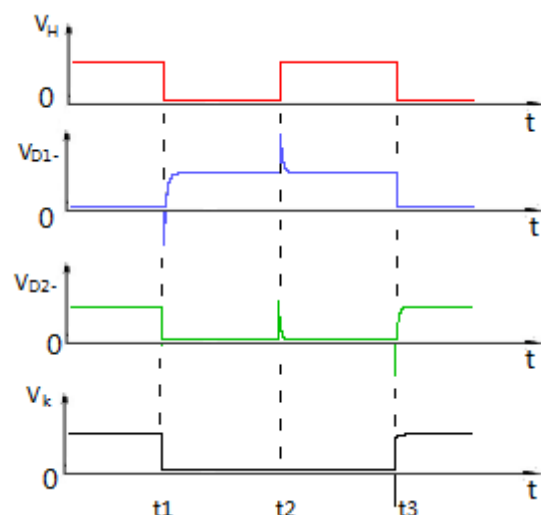


图 4 双稳态触发器波形图

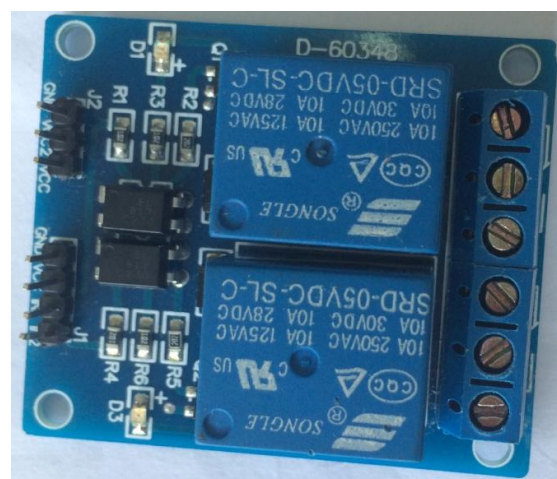
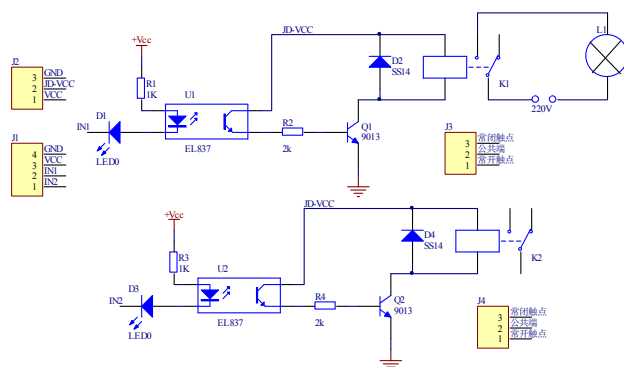


图 5 继电器实验电路板电路图及实物图

实验内容

本电路的测试，第 1 步——第 3 步示波器均选用直流耦合方式，第 5 步示波器选用交流耦合方式。

1. 两级音频放大电路的测试。



搭接两级音频放大电路，麦克风先不接入（断开），在 A 点输入 1KHZ， $V_{pp}=100mV$ 的正弦波，观察 A、B 和 C 点波形，并记录波形。

适当减小 A 点的幅值，观察 C 点波形变化，C 点波形消失时（没有脉冲信号），A 点的峰峰值为_____。

2. 单稳态触发器测试。

搭接单稳态触发器，R7 取 10K，在 D 点输入 50HZ 方波（高电平为 5V，低电平为 0V），观察 D、E、F、G 点的波形，并记录波形。测出暂态时间 t_w ，并与理论值进行比较。

使用光标测试 G 点的暂态时间 t_w = _____。

光标测试 t_w 方法如图 6 所示。点 Cursor，打开光标，并把光标模式设置为手动，点 Cur A 使其反白，旋转  旋钮（Cursor 左侧旋钮），使光标 A 处于正脉冲的上升沿；取消 Cur A 使其不反白，点 Cur B 使其反白，旋转  旋钮（Cursor 左侧旋钮），使光标 B 处于正脉冲的下降沿；读出 $|\Delta x|$ 的值即为暂态时间 t_w 。

3. 双稳态触发器测试。

搭接双稳态电路，在 H 点输入 1Hz 方波（高电平为 1V，低电平为 0V），观察 LED 灯 D3 是否有变化。再把频率设置为 100HZ，在示波器上观察 H 点、K 点和 J 点波形，注意观察 K 点和 J 点翻转是否发生在 H 下降沿，并记录波形。

4. 联合调试。

A 点接入麦克风，R7 改用 1M 电阻，将 C 点和 D 点连接起来，将 F 点与 H 点连接起来，对着麦克风拍手输入声音信号，观察是否能控制 D3 的亮灭。

5. （*选做）观察声音信号。

用示波器观察 A 点信号，耦合方式设置为交流；时间

（X 轴）灵敏度设置为 20ms，幅度（Y 轴）灵敏度设置为 20mV；触发方式设置为单次触发，旋转 Level 旋钮设置触发电平为 50mV，设置界面如图 7 所示。拍手观察声音信号，记录波形，测出其最大值为_____，持续时间为_____。

6. （*选做）声控强电回路。

将 K 点接入图 5 的 IN1，VCC 接 +5V，光耦右侧的 JD-VCC 和地分别接另一实

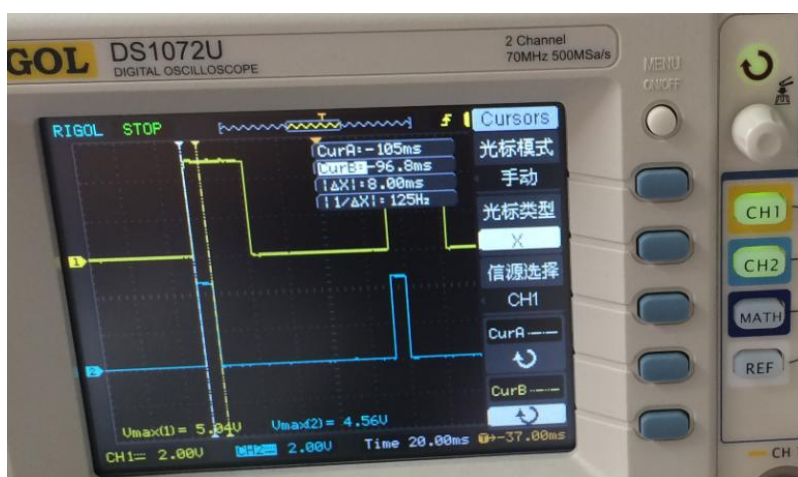


图 6 用光标测试暂态时间

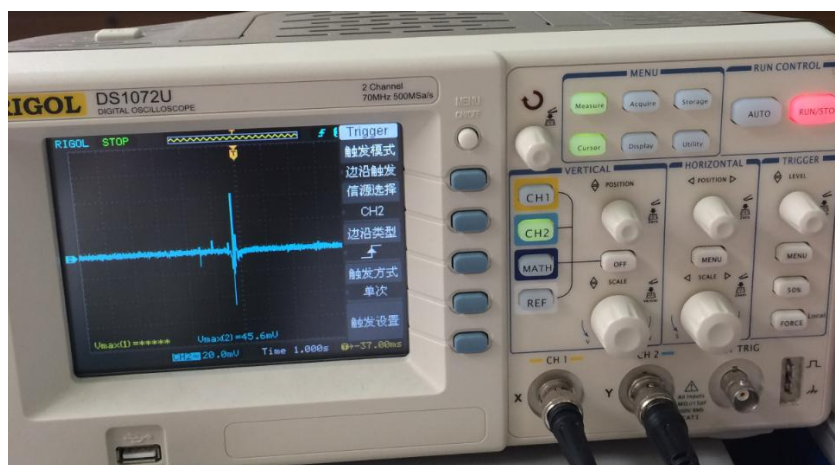


图 7 捕获声音信号的示波器触发设置

验箱的+5V 和地，白炽灯一端接继电器开关的公共端，一端接继电器开关的常闭触点，接入白炽灯插座，拍掌输入声音信号，观察是否能控制白炽灯的亮灭。

思考题

1. 两级音频放大电路的作用是什么？根据你的实验结果，第一级放大倍数是多少？
2. 单稳态触发器在整个电路中起什么作用？如果取消该电路，直接把 C 点和 H 点连接起来，会有什么问题？
3. R7 为什么取 1M，取得过大如 22M，或过小如 1k，会有什么问题，通过计算来说明？
4. 在双稳态触发电路中，若把 R8 和 R13 断开，电路能否实现翻转，为什么？

步进电机控制器

实验目的

1. 设计任务：要求设计一个步进电机的控制电路，该电机能对步进电机的运行状态进行控制。
2. 基本要求：
 - (1) 能控制步进电机正转及速度，并由 LED 显示运行状态。
 - A. 单四拍方式：通电顺序为 A—B—C—D—A。
 - B. 双四拍方式：通电顺序为 AB—BC—CD—DA—AB
 - C. 四相八拍方式：通电顺序 A—AB—B—BC—C—CD—D—DA—A
 - (2) 测量步进电机的步距角。(通过实测步进电机旋转一周所需要的脉冲数，推算出步进电机的步距角。步距角：对应一个脉冲信号，电机转子转过的角位移，用 θ 表示。)

实验设备及材料

1. 装有 Multisim 12 的计算机
2. 函数信号发生器
3. 双踪示波器
4. 数字万用表
5. 面包板
6. 芯片 555、74LS161、74LS138、74LS20×2；电阻 100K×2、510×4；电容 0.01uF (103)、0.1uF (104)；发光二极管×4；四相八拍步进电机 28BYJ-48/5V；步进电机驱动模块（含 ULN2003）；杜邦线（公对母）×6

实验原理

1. 步进电机

步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件。在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响，当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度，称为"步距角"，它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的；同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而达到调速的目的。

该步进电机为一四相步进电机，采用单极性直流电源供电。只要对步进电机的各相绕组按合适的时序通电，就能使步进电机步进转动。图 1 是该五线四相反应式步进电机工作原理示意图。

开始时，开关SB接通电源，SA、SC、SD断开，B相磁极和转子0、3号齿对齐，同时，转子的1、4号齿就和C、D相绕组磁极产生错齿，2、5号齿就和D、A相绕组磁极产生错齿。

当开关SC接通电源，SB、SA、SD断开时，由于C相绕组的磁力线和1、4号齿之间磁力线的作用，使转子转动，1、4号齿和C相绕组的磁极对齐。而0、3号齿和A、B相绕组产生错齿，2、5号齿就和A、D相绕组磁极产生错齿。依次类推，A、B、C、D四相绕组轮流供电，则转子会沿着A、B、C、D方向转动。

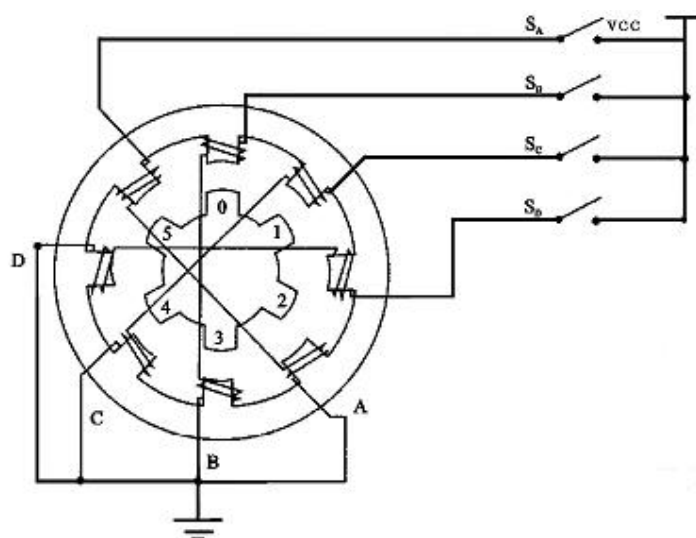
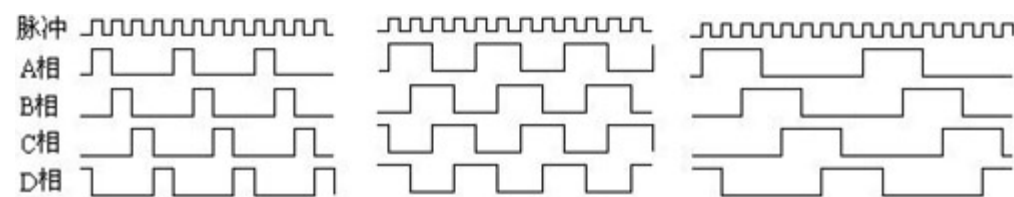


图1 五线四相反应式步进电机工作原理示意图

四相步进电机按照通电顺序的不同，可分为单四拍、双四拍、八拍三种工作方式。单四拍与双四拍的步距角相等，但单四拍的转动力矩小。八拍工作方式的步距角是单四拍与双四拍的一半，因此，八拍工作方式既可以保持较高的转动力矩又可以提高控制精度。

单四拍、双四拍与八拍工作方式的电源通电时序与波形分别如图2. a、b、c所示：

单四拍、双四拍与八拍工作方式的电源通电时序与波形分别如图2. a、b、c所示：



a. 单四拍

b. 双四拍

c 八拍

图2 步进电机通电顺序

2. 四相八拍步进电机控制电路

如图3为四相八拍步进电机脉冲分配电路，由555产生脉冲信号，由74LS161进行计数，再由74LS138进行译码，最后由74LS20组合成所需的四相脉冲信号。

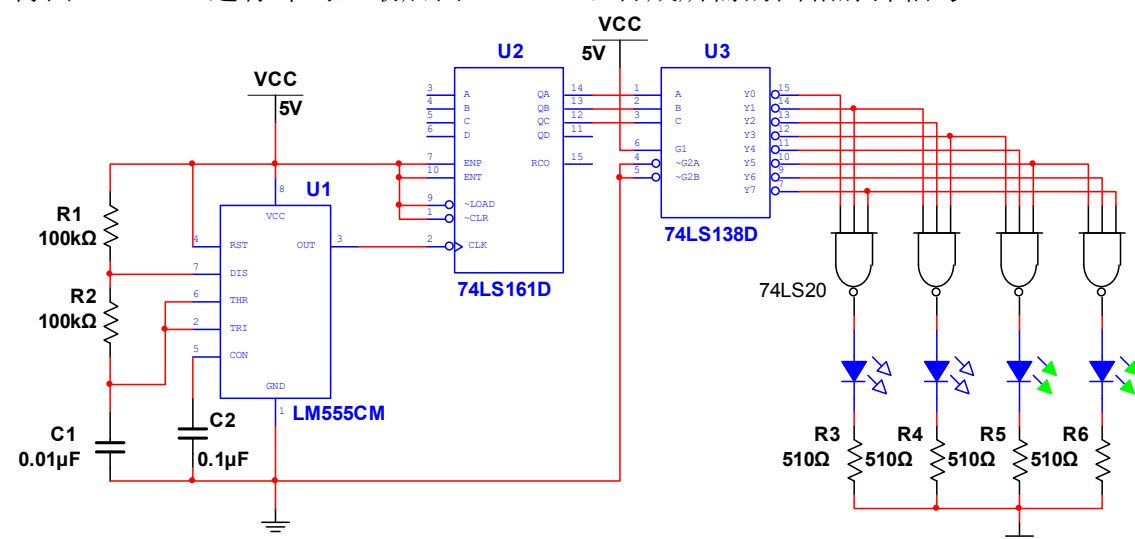


图3 四相八拍步进电机控制电路

1) 脉冲发生电路

脉冲发生电路由 NE555 及外接阻容元件构成多谐振荡器产生的，多谐振荡器是一个可以产生周期性的矩形脉冲信号的自激振荡电路。

根据公式 频率 $f=1/0.7(R1+2R2)C1$ 和占空比 $q=(R1+R2)/(R1+2R2)$ ，可算出其频率和占空比。

2) 环形脉冲分配电路

环形脉冲分配电路是步进电机中的一个重要环节，利用环形脉冲分配电路可以产生所需要的脉冲波形，以实现对步进电机的控制。

本电路用 555 为 74LS161 提供时钟脉冲，使 74LS161 进行十六进制计数，将 QA、QB、QC 三个输出端的信号作为 74LS138 芯片的输入信号由其进行译码工作。

3) 控制电路

本项目以四相八拍正转为例进行设计。按照四相八拍的工作方式，列出真值表如表 1 所示。

表 1 四相八拍正转时序表

工作方式	励磁方式	D	C	B	A
四相八拍	A	0	0	0	1
	AB	0	0	1	1
	B	0	0	1	0
	BC	0	1	1	0
	C	0	1	0	0
	CD	1	1	0	0
	D	1	0	0	0
	DA	1	0	0	1
	A	0	0	0	1

根据 74LS138 的工作原理，ABCD 四相即为要求的输出相，要求从 74LS161 输出从 000 到 111 的循环逻辑信号，从而可以列出 74LS138 的真值表，如表 2 所示。

表 2 74LS138 输出与四相对应关系

Y0'	Y1'	Y2'	Y3'	Y4'	Y5'	Y6'	Y7'	工作相	D	C	B	A
0	1	1	1	1	1	1	1	A	0	0	0	1
1	0	1	1	1	1	1	1	AB	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	B	0	0	1	0
1	1	1	0	1	1	1	1	BC	0	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1	1	C	0	1	0	0
1	1	1	1	1	0	1	1	CD	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	1	D	1	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	0	DA	1	0	0	1

从表 2 中可以分析出：

$$\begin{aligned}
 A &= (Y0'Y1'Y7')' & B &= (Y1'Y2'Y3')' \\
 C &= (Y3'Y4'Y5')' & D &= (Y5'Y6'Y7')'
 \end{aligned}$$

可以得出结论：步进电机的每个相都由 74LS138 的 3 个输出端控制，只要 3 个输出端有一个端输出为 0 时,输出为 1，该端所控制的相工作。

4) 步进电机驱动电路

步进电机驱动电路运用 ULN2003 驱动。ULN2003 是内部结构是达林顿管的列阵（如图 4），是一个非门电路，包含 7 个单元，各二极管的正极分别接各达林顿的集电极。用于感性负载时，该脚接负载电源正极，起续流作用（在感性负载中，电路断开后会产生很大的反电动势，为防止损坏达林顿管，接反相的二极管来构成通路，使之转换为电流）。图 5 是步进电机驱动电路图，图 6 为步进电机驱动模块实物图，图 7 为步进电机实物图。

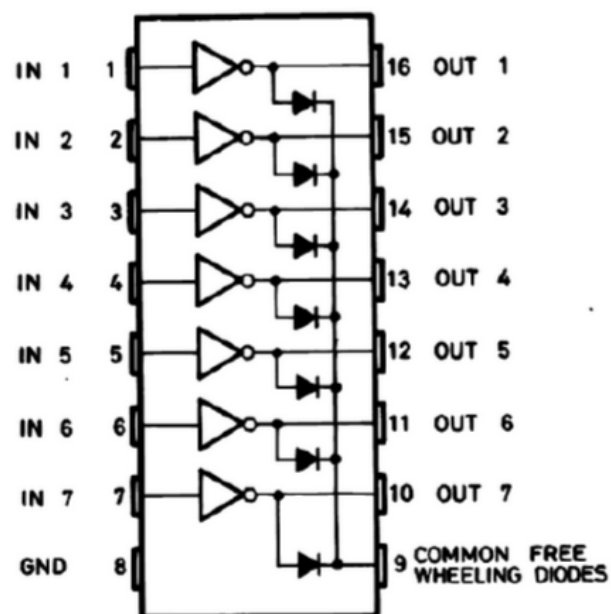


图 4 ULN2003 内部结构

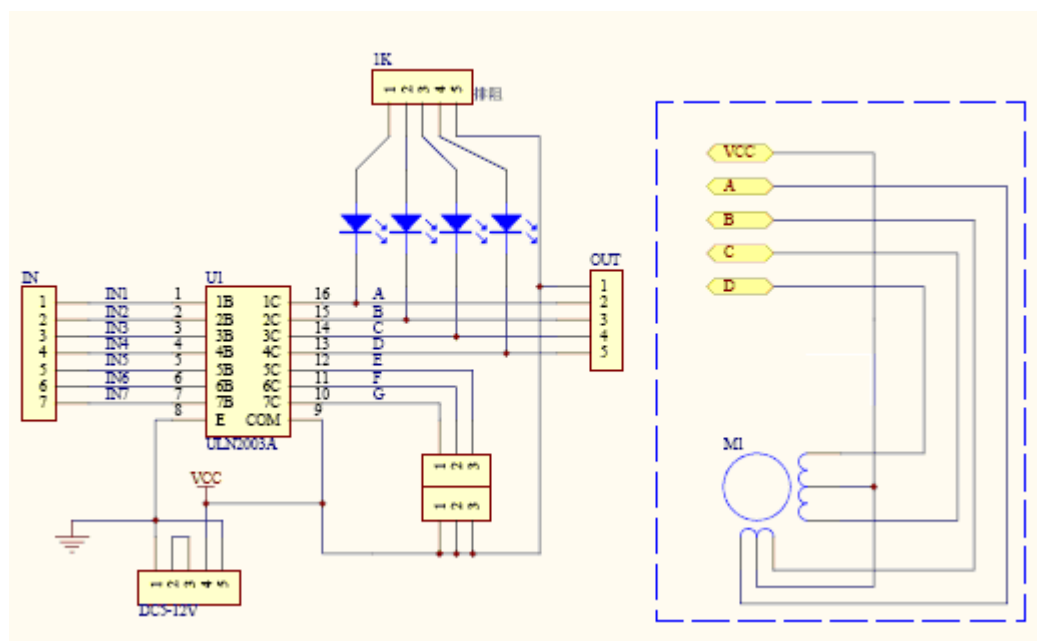


图 5 步进电机驱动电路



图 6 步进电机驱动模块

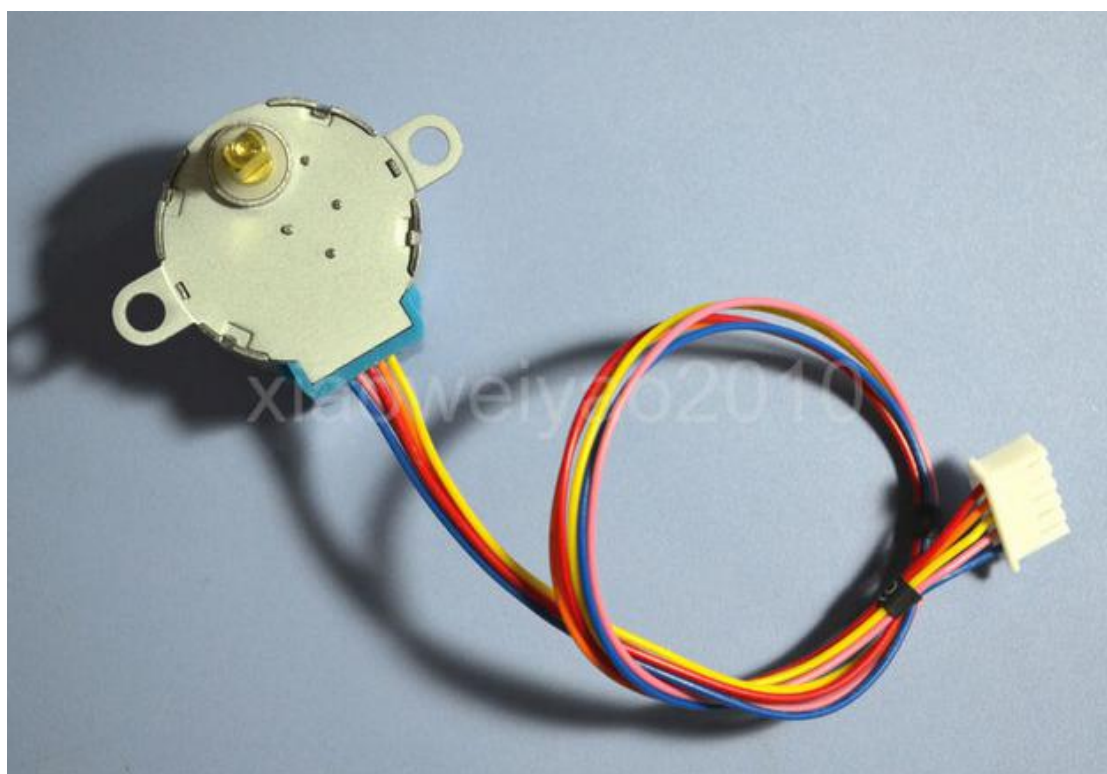


图 7 步进电机

实验内容

本电路的测试，示波器均选用直流耦合方式。

1. 搭接脉冲发生电路，用示波器测出其输出波形。读出频率、占空比，并记录波形。
2. 搭接 74LS161 分频电路，在脉冲输入端 CLK(2 脚)输入 1kHz，高电平 5V,低电平 0V 的方波，用示波器观察波形，观察 QA、QB、QC 是否分别为 CLK 的 2、4、8 分频，记录波形。
3. 搭接 74LS161 和 74LS138 组成的环形脉冲分配电路及 74LS20 组成的控制电路，在 74LS161 的脉冲输入端 CLK(2 脚)输入 1HZ 连续脉冲，用指示灯观察其 ABCD 输出是否为四相八拍的顺序。把脉冲信号提高到 1kHz，用示波器观察 Y0'~Y7'波形，再观察 ABCD 波形，并记录其中一个波形。
4. 将 ABCD 四相分别接入电机驱动电路，观察电机是否转动。
5. 将各模块连接起来，测出步进电机的步距角。

思考题

1. 设计单四拍控制电路，并搭接电路实现。
2. 设计双四拍控制电路，并搭接电路实现。
3. 设计四相八拍控制电路的反转电路，并实现可控的正反转。

交流电压自动增益控制放大器

实验目的

要求设计一个交流电压自动增益控制放大器，实现的功能为：

(1) 对于不同的输入信号自动变换增益：

- a. 输入信号峰值为 0—1V，增益为 3；
- b. 输入信号峰值为 1—2V，增益为 2；
- c. 输入信号峰值为 2—3V，增益为 1；
- d. 输入信号峰值为 3V 以上，增益为 0.5；

(2) 通过数码管显示当前放大电路的放大倍数，用 0、1、2、3 分别表示 0.5、1、2、3 倍。

实验设备及材料

1. 装有 Multisim 12 的计算机
2. 函数信号发生器
3. 双踪示波器
4. 数字万用表
5. 面包板
6. 芯片 LM324、LM339、74LS00、CD4052、74LS48；共阴极数码管、电阻 5.1K、10K×10、20K×2、30K、1M；电容 1μF（105）；二极管 1N4148；电位器 10K

实验原理

交流电压自动增益控制放大器由以下五个单元电路组成，如图 1 所示。

1. 峰值检测电路

峰值检测电路的作用是对输入信号的峰值进行提取，产生输出 $V_{o1} = V_{peak}$ ，为了实现这样的目标，电路输出值会一直保持，直到一个新的更大的峰值出现或电路复位。

U1A 和 U1B 组成一个采样保持电路。U1A 组成一个比较器，U1B 组成一个电压跟随器。一开始，当 3 脚电压大于 2 脚电压（0V）时，1 脚输出为正电压（ $+V_{CC}$ ），C1 充电，充电至 V_{peak} 。此电压通过电压跟随器得到 v_{o1} 为 V_{peak} ， V_{o1} 通过 R1 反馈至 U1A 的 2 脚（-端）。如果 3 脚（+端）峰值大于 V_{peak} ，1 脚输出为正电压（ $+V_{CC}$ ），C1 充电；如果 3 脚峰值小于 V_{peak} ，1 脚输出为负电压（ $-V_{CC}$ ），D1 截止，C1 通过 R2 放电，这样形成动态平衡。因此只要 IN 峰值不变，C1 上端电压基本不变，为 V_{peak} ， V_{o1} 也为 V_{peak} ；R2 和 C1 组成的 RC 放电回路时间常数较大，可设置为 1 秒以上。

这样就把交流信号转化为了直流信号。

2. 电压比较器

其中峰值检测电路的输出送入比较器 LM339 的同相输入端，反向输入端接分压电阻的分压电压，当输入的峰值电压大于对应分压电压时，比较器输出为正，反之为零，根据题目要求的电压等级划分需要分压电压分别为 1V、2V、3V，则对应电阻可选 10KΩ、10KΩ、10KΩ、20KΩ，对应不同的交流信号，输出不同的 0、1 组合，这样就实现了直流信号的 A/D 转换。

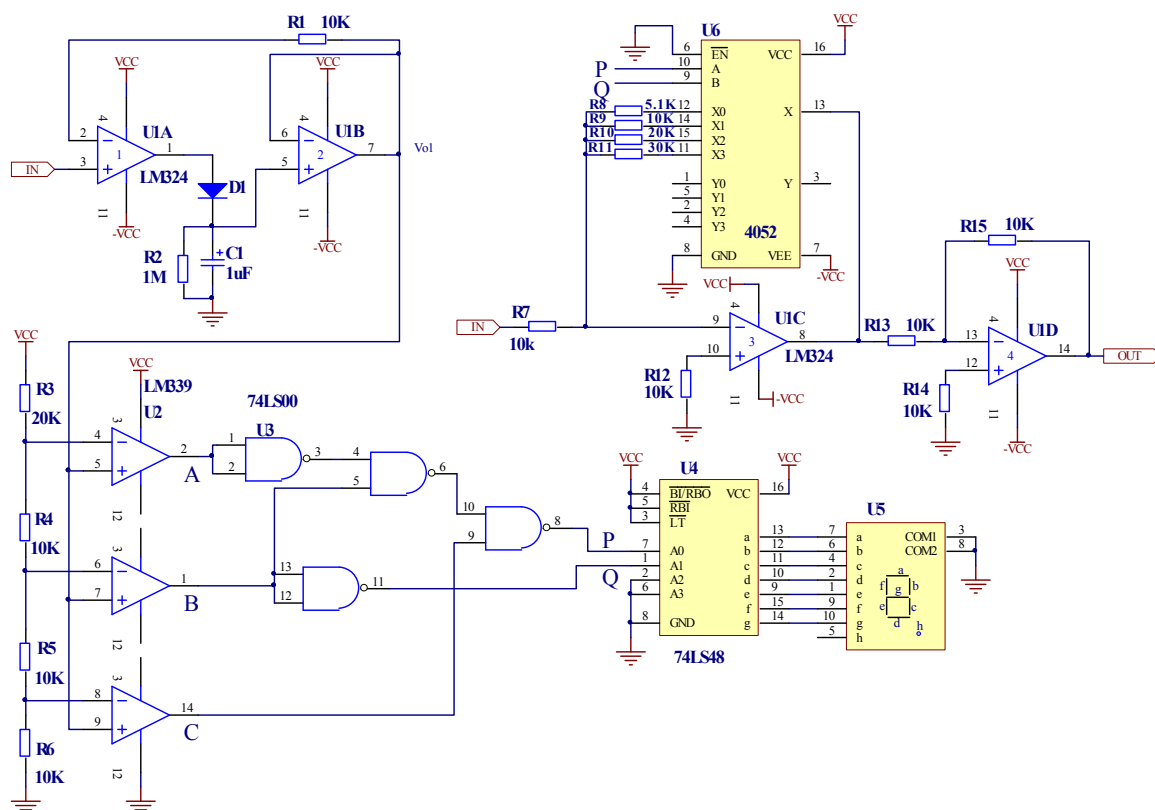


图 1 交流电压自动增益控制放大器实验线路图

3. 组合逻辑电路

根据分析，可以列出输入信号峰值与比较器电路输出以及译码器输入的对应关系如表 1 所示。

表 1 比较器电路的输出与对应 BCD 码

输入峰值	C B A (比较电路输出)	A ₃ A ₂ A ₁ (Q)A ₀ (P) (74LS48 输入)	数码管显示
0~1V	0 0 0	0 0 1 1	3
1~2V	1 0 0	0 0 1 0	2
2~3V	1 1 0	0 0 0 1	1
3V 以上	1 1 1	0 0 0 0	0

从表 1 中我们可以列出 PQ 与 CBA 的关系，因此可以列出真值表，画出卡诺图，分别写出 P 和 Q 与 ABC 之间的逻辑表达式，并用 74LS00 来实现。这个分析过程请同学们自己完成，并写在实验报告上。

4. 译码显示电路

把 74LS48 接成译码方式。把 P、Q 接到 A₀ 和 A₁，A₃ 和 A₂ 接地，所以输入变化范围为 0000-0011，输出显示范围也是 0-3。

5. 放大电路

U1C 与 U6 组成可变增益反相放大器，反馈电阻为 R₈、R₉、R₁₀、R₁₁ 其中一个，由 Q(B)P(A)的组合来选择，如 QP=10, X₂ (15 脚) 与 X (13 脚) 接通，反馈电阻为 R₁₀(20k)，此时增益为 R₁₀/R₇=2 倍，其余类推。U1D 组成一个反相器，将相位翻转过来，因此输出 OUT 的相位与输入 IN 同步。

实验室操作内容

1. 峰值检测电路

V_{CC} 取+5V,- V_{CC} 取-5V。搭接峰值检测电路，输入 1KHz 正弦波，改变输入信号幅值，测出其输出幅值。示波器选用直流耦合方式，测量输入输出波形，记录一组波形，输入读峰峰值，输出读平均值，记录到表 3。

表 3 峰值检测记录表

输入	输出 $V_{o1}(V)$
$V_{pp}=2V$	
$V_{pp}=4V$	
$V_{pp}=6V$	

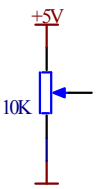
2. 数字信号变换电路

数字信号变换电路包括比较器电路、组合逻辑电路、译码显示电路。以下测试数据记录到表 4 中。

- 1) 搭接比较器电路，测量三个比较器的反相输入端为 1V、2V、3V。在同相端输入不同的直流电压值，可用电位器调节。测量 ABC 的高低电平（记 1 和 0）。
- 2) 再搭接组合逻辑电路，同时测出 QP 值。
- 3) 继续搭接译码显示电路，观察数码管显示数据。

表 4 数字变换电路记录表

同相端输入 (V)	A B C	Q P	数码管显示
0.5			
1.5			
2.5			
3.5			



3.放大电路

搭接放大电路，PQ 接高低电平，输入 1KHZ，峰峰值为 2V 的正弦波，用示波器观察输入输出，并记录一组波形。

表 5 放大电路记录表

QP	输入峰峰值 (V)	输出峰峰值 (V)	放大倍数 A_v
00			
01			
10			
11			

4. 系统调试

把各部分连接起来，取 1KHZ 正弦波，改变输入信号的幅值，观察放大倍数和数码管显示，记录到表 6 中。

表 6 系统调试记录表

输入峰峰值 (V)	Vo1 (V)	A B C	Q P	数码管显示	输出峰峰值 (V)
()V 峰值 0-1V					
()V 峰值 1-2V					
()V 峰值 2-3V					
()V 峰值>3V					

思考题

1. 列出 PQ 与 ABC 之间的关系，并写出表达式，画出卡诺图，化简成 2 输入与非门的最简表达式。
2. 如果 R2 和 C1 取值较小，如 C1 取 0.01uf，R2 取 1K，峰值检测电路输出效果是怎样的？
3. 若把 4052 改用 4051 可以实现吗？如果能，应该如何接线？