

第 3 章

模拟电子技术综合实训项目

本章重点

- (1) 音频功率放大器的设计、制作与调试。
- (2) 直流稳压电源的设计、制作与调试。

电子工业出版社版权所有
盗版必究

3.1 音频功率放大器的设计、制作与调试任务书

3.1.1 能力目标

- (1) 具备识别、检测和正确选用常用元器件的能力。
- (2) 熟悉元器件手册，掌握查阅元器件手册的方法。
- (3) 掌握正确使用万用表、直流稳压电源、信号发生器、示波器、交流毫伏表等常用仪器仪表、设备，以及电烙铁、镊子、螺丝刀等工具的方法。
- (4) 具备典型音频功率放大器的分析和初步设计能力。
- (5) 具备阅读典型音频功率放大器电路原理图的能力。
- (6) 具备音频功率放大器的设计、制作、调试及排除一般电路故障的能力。
- (7) 具备电子产品说明书的阅读和理解能力。
- (8) 提高综合运用理论知识解决实际问题的能力。学生应能通过电路分析、设计、安装、调试等环节，初步掌握电子产品设计、制作、调试的一般程序和方法。
- (9) 养成严谨、细致、求实的学习作风，认真负责的学习态度，以及良好的职业道德素养，提高安全意识。

3.1.2 技术指标、功能要求和设计任务

1. 技术指标和功能要求

- (1) 用集成功率放大器（LM386）设计一个音频功率放大器。
- (2) 输入 1kHz、10mV 左右的音频信号，扬声器中应有声音发出，且声音的强弱可调节。

2. 设计任务

- (1) 根据技术指标和功能要求初选电路，采用 LM386 完成电路设计。
- (2) 在万能板上焊接电路。

- (3) 调试音频功率放大器。
- (4) 排除可能产生的故障。
- (5) 分析实验结果，撰写技术报告（综合实训总结报告）。

3.1.3 时间安排建议

建议实训时间为 20 学时，以下给出各环节的时间安排建议。

(1) 电路设计，确定设计方案——8 学时。

要求画出电路原理图，列出所需元器件清单。按照元器件清单领取元器件，根据元器件外形设计装配图。

(2) 音频功率放大器的装配与焊接——6 学时。

检测元器件功能的好坏，根据设计的电路原理图进行音频功率放大器的装配与焊接。

(3) 音频功率放大器的调试——4 学时。

对音频功率放大器进行调试，使其达到功能要求。若在调试过程中出现故障，则需要认真分析，查找故障原因并排除故障。

(4) 总结及交流——2 学时。

对实训项目进行总结，学生之间可交流经验、体会、遇到的问题及解决问题的方法、建议等。撰写综合实训总结报告。

3.1.4 成绩评定方法

- (1) 平时表现（主要是考勤及行为规范）——20%
- (2) 音频功率放大器的设计、装配、焊接——30%
- (3) 音频功率放大器的调试——30%
- (4) 综合实训总结报告——20%

3.1.5 综合实训总结报告的标准格式

封面——题目、姓名等信息

目录

一、设计任务书及主要技术要求

二、音频功率放大器的电路原理图、原理说明及装配图

三、音频功率放大器的制作、调试过程及结果分析

四、遇到的问题及解决问题的方法

五、收获、体会

六、意见、建议

七、附录

(1) 元器件清单列表，包括名称（如电阻、电容、集成电路等）、型号或数值、数量、备注等。

(2) 主要参考资料。

3.2 音频功率放大器的设计、制作与调试指导书

3.2.1 音频功率放大器的设计

1. LM386 简介

LM386 是一种集成功率放大器，具有自身功耗低、电压增益可调整、电源电压范围大、外接元器件少和总谐波失真小等优点，广泛应用于收音机、对讲机和信号发生器。LM386 采用 8 引脚双列直插式塑料封装，其外形及引脚排列如图 3-1 所示，其引脚的功能如表 3-1 所示。LM386-4 的典型应用参数：直流稳压电源电压范围为 5~18V，电源电压为 6V 时的静态工作电流为 4mA，电源电压为 16V、负载电阻为 32 Ω 时的输出功率为 1W，带宽为 300kHz（1 号引脚和 8 号引脚开路时），输入阻抗为 50k Ω 。



图 3-1 LM386 的外形及引脚排列

表 3-1 LM386 的引脚的功能

引 脚 号	1	2	3	4	5	6	7	8
功 能	增益设定	反相输入	同相输入	接地	输出	电源	旁路电容	增益设定

LM386 的内部电路如图 3-2 所示，该电路由输入级、中间级和输出级构成。输入级为差分放大电路。信号从 VT_1 和 VT_6 的基极输入， VT_1 和 VT_6 构成射极输出器，用于提高输入电阻， R_1 、 R_7 为偏置电阻， VT_2 和 VT_4 构成双端输入、单端输出的差分放大电路， VT_3 和 VT_5 构成镜像电流源，作为 VT_2 和 VT_4 的有源负载，信号从 VT_4 的集电极输出， R_4 、 R_5 是差分放大电路的发射极负反馈电阻。中间级为共射极放大电路，由 VT_7 和恒流源负载构成，是 LM386 的主要增益级。输出级为由 VT_8 和 VT_{10} 复合等效而成的 PNP 型三极管与 VT_9 构成的准互补对称功率放大电路， VD_1 、 VD_2 为 VT_8 、 VT_9 提供静态偏置电压，以消除交越失真。 R_6 是级间反馈电阻，与 R_4 、 R_5 构成反馈网络，引入电压串联负反馈，稳定输出电压。

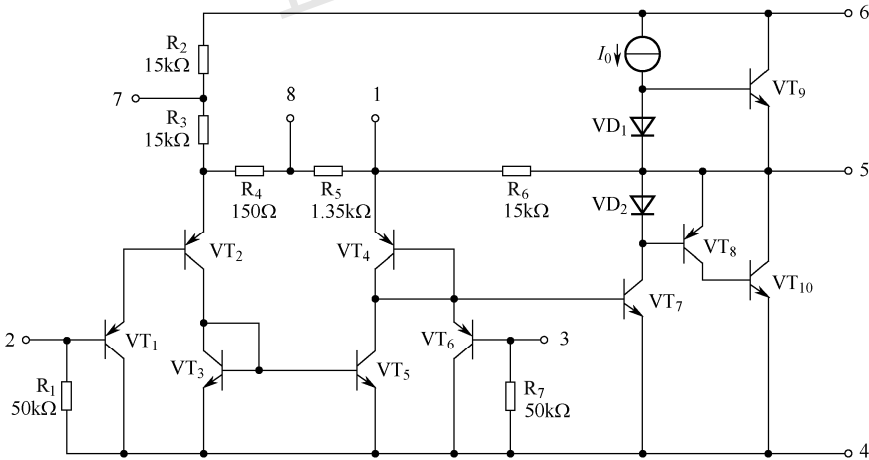


图 3-2 LM386 的内部电路

2. LM386 的应用电路分析

LM386 的典型应用电路如图 3-3 所示, 该电路是用 LM386 组成的 OTL 功率放大电路。在该电路中, 直流稳压电源电压从 6 号引脚输入, 6 号引脚外接滤波电容 C_3 , 用以滤除电源电压中的高频交流成分, 2 号引脚和 4 号引脚接地。信号从 3 号引脚输入, R_{W1} 为音量调节电位器, 用以调节输入信号的音量大小。信号从 5 号引脚输出, 输出端通过电容 C_5 接至扬声器, 构成 OTL 功率放大电路, 静态时输出电容 C_5 上的电压为 $U_{CC}/2$, 故 C_5 的耐压值应高于 $U_{CC}/2$, R 和 C_4 串联构成相位校正网络, 用于防止电路自激。7 号引脚与地之间外接电解电容 C_1 。

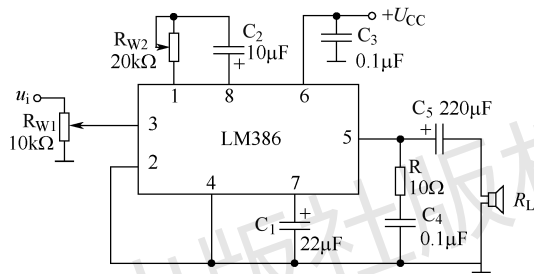


图 3-3 LM386 的典型应用电路

由 LM386 的内部电路可知, 当 1 号引脚和 8 号引脚开路时, R_5 位于 R_4 与 VT_4 的发射极之间, 负反馈作用最强, 整个电路的电压放大倍数为 20, 电路接法如图 3-4 所示。电压放大倍数的计算方法如下:

$$A_{uf} \approx \frac{2R_6}{R_4 + R_5} = 20$$

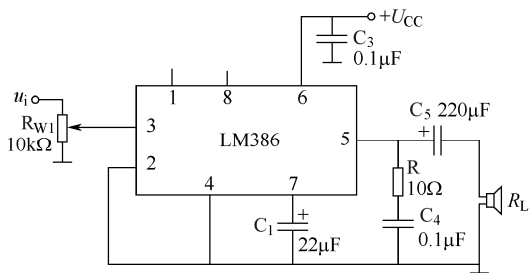


图 3-4 LM386 电压增益最小时的电路

在实际应用中, 往往在 1 号引脚和 8 号引脚之间外接阻容串联电路, 如图 3-3 所示, 由 R_{W2} 和 C_2 构成增益调整电路, 通过调节 R_{W2} 的阻值可使 LM386 的电压放大

倍数在 20 到 200 之间变化, R_{W2} 的阻值越小, 电压放大倍数越大, 当 R_{W2} 的阻值为零时, 电压放大倍数最大, 为 200, 即

$$A_{uf} \approx \frac{2R_6}{R_4} = 200$$

由 LM386 构成的音频功率放大器的最大不失真输出电压的峰值约为电源电压的一半, 设负载电阻的阻值为 R_L , 则最大输出功率为

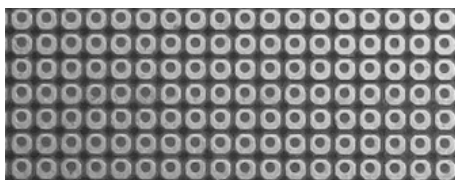
$$P_{om} \approx \frac{\left(\frac{U_{CC}}{2\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{U_{CC}^2}{8R_L}$$

输入信号电压的最大有效值为

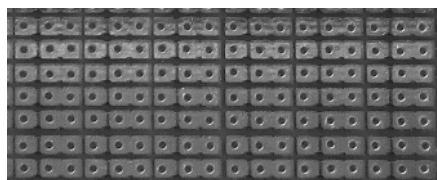
$$U_{im} \approx \frac{\frac{U_{CC}}{2\sqrt{2}}}{A_{uf}}$$

3. 电路板的选择

本实训可选用万能板进行装配。如图 3-5 所示, 万能板是一种通用设计的电路板, 板上布满了圆形焊盘, 孔间距为 2.54mm, 具有操作方便、扩展灵活的优点。根据焊盘形状不同, 万能板可分为单孔板和连孔板两大类。单孔板如图 3-5 (a) 所示, 其焊盘是单孔圆形的, 焊盘之间相互独立; 连孔板如图 3-5 (b) 所示, 其多个焊盘连在一起。一般的万能板由覆铜板腐蚀而成, 可直接插装电阻、电容、集成电路等各种元器件。单面板是一种常用的万能板, 在使用时将元器件安装在元器件面一侧, 引脚位于焊接面一侧, 通过焊盘将元器件引脚、导线等焊接连通。



(a) 单孔板



(b) 连孔板

图 3-5 万能板

万能板的尺寸大小不一, 如果没有合适的尺寸, 就需要对万能板进行切割加工。切割时可使切割线通过某一行或某一列焊孔, 这样在切割时既省力又可使断面平直,

切割完成后用砂纸或锉刀将切割面打磨平直、光滑。

4. 元器件布局与布线

在万能板上焊接电路之前,应先规划好元器件的布局,元器件的布局是否合理将直接影响电子设备的性能。不同的电路有不同的元器件布局要求,这里仅针对本实训的内容,介绍元器件的布局要求和方法及注意事项。

元器件的布局应能保证电路功能正常,满足电路的性能指标和工艺要求,且便于检测和维修。

本实训所用元器件数量较少,布局时按照电路原理图,根据实际元器件的大小和特点,可直接画出初步的排版设计图。

(1) 以 LM386 为中心排布其他元器件,且 LM386 应与其他元器件保持适当的距离,整体布局要合理。

(2) 输入端、输出端沿信号流路径在电路板上从左向右顺序排列,以便于信号流通。

(3) 若电路中有电位器,则在布置电位器时要使其便于调节且重心平衡、稳定。

(4) 元器件到万能板边缘的距离应大于 2mm。

(5) 先放置占用面积较大的元器件,后放置占用面积较小的元器件;先放集成电路,后放分立电路。

(6) 对于单面板,每个元器件引脚单独占用一个焊盘,元器件不可上下交叉,相邻元器件应保持一定的间距。

(7) 元器件的排列应均匀、整齐、紧凑、美观。

在布线时应根据电路原理图,从输入端到输出端逐级布线,且线条应横平竖直。输入端尽可能远离输出端,以减小信号的相互干扰。一般将公共地布置在万能板的边缘,电源亦靠近万能板的边缘。由于电源线与地线贯穿整个电路,所以合理的电源线和地线布局对简化电路起到十分重要的作用。

对于初学者,在本实训中可先将元器件插装到万能板上,然后用笔在万能板的元器件面一侧画上引脚连线,以方便调整布局和布线,也可用于下一步的焊接对照。

5. 音频功率放大器设计所用元器件及其作用

音频功率放大器设计所用元器件及其作用如表 3-2 所示。

表 3-2 音频功率放大器设计所用元器件及其作用

序 号	元 器 件	型号或数值	数 量	作 用
1	电位器 R_{W1}	10k Ω	1	音量调节
2	电容 C_1	22 μ F	1	旁路
3	电位器 R_{W2}	20k Ω	1	增益调节
4	电容 C_2	10 μ F	1	
5	电容 C_3	0.1 μ F	1	滤除电源电压中的高频交流成分
6	电阻 R	10 Ω	1	相位补偿, 防止电路自激
7	电容 C_4	0.1 μ F	1	
8	电容 C_5	220 μ F	1	输出耦合电容
9	集成功率放大器	LM386	1	音频功率放大
10	扬声器	8 Ω	1	将电信号转变为声信号

根据电路原理图上标明的各元器件的规格、型号和参数合理地选用元器件, 当使用条件与技术资料不符时, 可根据元器件的参数适当置换, 但应满足电路的设计要求。

3.2.2 音频功率放大器的制作

1. 元器件的检测

在使用元器件前必须对其进行检测。

对于电阻和电位器, 先检查外观, 观察引线有无松动、折断, 再使用万用表的欧姆挡测量电阻值, 观察测量值与标称值的差值是否在允许的误差范围内。在检测电位器时, 将万用表的一个表笔与一定端相接, 另一个表笔与动端相接, 电位器旋钮应能灵活转动且松紧适当, 万用表表针转动应平稳且无跳跃现象。

在检测电容时, 先观察引线有无折断, 型号、规格是否符合要求, 然后用万用表检测其是否有短路、断路或漏电现象。

在检测 LM386 时, 先检查外观, 如表面有无缺损、引脚有无折断、型号是否符合要求等, 再测量其各引脚之间的直流电阻值。

在检测扬声器时, 先检查外观是否完好, 再用万用表的欧姆挡检测其音圈。在检

测时,将万用表置于“ $\times 1$ ”挡,先进行欧姆挡调零,再用万用表的两个表笔断续触碰扬声器的两个接线端,扬声器应发出“咔、咔”声,声音越清晰、越响表明扬声器越好,若无声,说明扬声器已损坏。用万用表的欧姆挡测出的扬声器音圈的直流电阻值应为标称值的 80%左右。

2. 元器件的安装

元器件若放置时间较长,其引线表面会产生氧化膜,使其可焊性降低,所以元器件一般要经过处理后再装配到印制电路板上。对元器件引线的处理包括校直、表面清洁和镀锡 3 个步骤。在进行完引线处理后,将引线弯折成一定的形状(引线成型),以便于迅速、准确地进行插装。在进行引线成型时,应注意弯折部分应与根部保持一定距离,不能紧贴根部弯折,以免引线断裂。

本实训中元器件在安装时有如下要求。

- (1) 安装顺序是先低后高、先轻后重。
- (2) 安装高度符合规定要求,同一规格的元器件保持在同一高度上。
- (3) 安装后元器件的标志应易于观察,且要便于识别、调试与检修。
- (4) 有极性的电容不能装反。
- (5) 注意 LM386 的标志,不能将方向装错。
- (6) 元器件的外壳和引线不得相碰,应有 1mm 左右的安全间隙。

(7) 电位器必须安装牢固,且应安装在便于调节的地方。安装在电位器轴端的旋钮不要过大,应与电位器的尺寸相匹配。在将电位器装入电路时,要注意 3 个引脚的正确连接。焊接时加热时间不得过长。

- (8) 元器件分布均匀、排列整齐。

3. 电路焊接

焊接是组装电子产品的重要工艺,焊接质量将直接影响成品性能。在进行手工焊接时,要注意以下一些方法和要领。

- (1) 保持电烙铁头的清洁,方法是用碎布擦拭电烙铁头。

(2) 左手拿焊锡丝,右手握电烙铁,用电烙铁将工件被焊部位加热,当被焊部位的温度升高到焊接温度时,送上焊锡丝,使之熔化并浸润焊点,形成焊料层后移去焊锡丝和电烙铁。不可用电烙铁头作为运载焊料的工具。

(3) 加热时间要合适。若加热时间不够,则焊锡无法充分熔化,容易造成虚焊;若加热时间过长,则容易造成焊料过多。

(4) 电烙铁撤离的角度和方向会影响焊点的形成。

(5) 在焊锡凝固之前,应使焊件固定,以免焊点变形,造成虚焊。

(6) 元器件引脚应清洁好后再上锡,否则焊接时焊锡不能浸润元器件引脚,容易造成虚焊。

(7) 在焊接过程中,电烙铁应安全放置(置于烙铁架上)。注意电源线不可搭在电烙铁头上,以防烫坏绝缘层。

(8) 电烙铁使用结束后,应及时拔下电源插头,切断电源。待冷却后,再放回工具箱。

焊点应具有良好的导电性和一定的机械强度,表面应明亮、干净、光滑,无拉尖现象。焊接时应避免虚焊和桥接,虚焊会使焊点内部接触不完全,存在接触电阻,从而造成电路的电气连接不良、工作不正常、状态不稳定;桥接是指将不应相连的焊点连在一起,会造成电气短路。

在使用万能板焊接时,连线方式一般有两种:一种是利用导线作为焊盘的连接线,连线时尽量做到水平和竖直走线,以使布局整洁、清晰;另一种是锡接走线,这种连线方式是用焊锡代替导线,将印制电路板上等电位点的焊盘连通,采用这种方式制作出的印制电路板性能稳定,但用锡较多且导线不能交叉,相当于单面板的布线,比直接用导线连接的要求高。

4. 电路检查

在制作完 LM386 后,应对其进行直观检查。根据电路原理图和装配图检查元器件的选用及安装是否正确,如检查元器件的安装位置、电阻的阻值、电容的容量和极性、LM386 的引脚位置等是否正确;查看电路是否有短路、断路现象;检查焊接质量,如元器件是否牢固、焊点是否符合要求等。如果发现问题,应及时处理。

3.2.3 音频功率放大器的调试

使用 LM386 应注意以下几点。

(1) 在使用前应认真查阅元器件手册,了解 LM386 的引脚排列及各引脚的功能,

特别注意电源端、输出端和接地端不可接错（尤其不能相互短路），否则可能损坏元器件。

- (2) 要保证电路接触良好，否则电路不能正常工作。
- (3) 注意极限参数。
- (4) 电源电压不能超过允许值且电源正、负极一定不能接反。
- (5) 在安装电路或插拔元器件时一定要断开电源。

1. 测量静态工作电压

电路经检查无误后，接通+6V 直流稳压电源，用万用表测量 LM386 各引脚处的直流电压，将测量数据记录入表 3-3。

表 3-3 静态工作电压

引 脚 号	1	2	3	4	5	6	7	8
静态工作电压/V								

2. 测量静态功耗

将输入信号对地短路，接通直流稳压电源，测量静态电源电流，求出静态功耗。

3. 调试电压放大倍数

用低频信号发生器在音频功率放大器的输入端输入 $f=1\text{kHz}$ 、 $U_i=10\text{mV}$ 的正弦波信号。调节电位器 R_{W1} 和 R_{W2} 的阻值，扬声器中应有声音发出，且随着电位器阻值的变化，声音的强弱有所变化。

4. 测试动态参数

若固定电压放大倍数，可按图 3-4 连接电路。输入 $f=1\text{kHz}$ 、 $U_i=10\text{mV}$ 的正弦波信号，用示波器观察输出波形，调节电位器 R_{W1} 的阻值，逐渐加大输入信号的幅度，使输出波形达到最大不失真状态。

- (1) 测量此时电源的输出电流，求出电源供给功率。
- (2) 用交流毫伏表测量输入信号、输出信号的电压，求出电路的电压放大倍数和最大不失真输出功率，并与理论估算值进行比较。
- (3) 求出该音频功率放大器的效率，并与理论估算值进行比较。

5. 测试幅频特性

保持输入信号的幅值不变, 改变输入信号的频率, 读出不同频率时的输出电压, 绘出幅频特性曲线。

3.2.4 音频功率放大器的检修

音频功率放大器出现故障的原因一般有接触不良、接线错误、断路、短路、元器件损坏等, 下面介绍对音频功率放大器进行检修的一些方法。

1. 直观检查

通过目测, 对安装好的音频功率放大器进行初步检查, 可发现一些明显的故障。检查范围包括电路接触是否良好, 焊接质量是否符合要求, 元器件安装位置是否正确, 电阻的阻值是否正确, 电容的容量与极性是否正确, LM386 的安装方向是否正确, 电路有无错接、漏接、断开现象, 尤其是电源线和地线、输入线和输出线的连接是否正确等。

2. 测试引脚的直流电压

判断 LM386 是否正常, 可测试其各引脚对地的直流电压, 并将其与典型值进行比较。对 LM386 进行检测主要使用万用表。

LM386 的 6 号引脚是电源引脚, 该引脚的电压在 LM386 各引脚电压中应该是最高的。若电源引脚的电压为 0V 或低于电源电压, 则应检查电源电压供给电路是否正常, C_3 是否短路或漏电, LM386 的性能是否良好。5 号引脚是 LM386 的输出引脚, C_5 是输出端耦合电容, 5 号引脚的电压应为电源电压的一半, 这是 OTL 功率放大电路的特征之一, 也是检修电路故障的重要依据, 若检测出 5 号引脚的电压为电源电压的一半, 则说明 LM386 正常。若在接线可靠的情况下, 输出电压始终等于电源电压, 则说明 LM386 已损坏。7 号引脚的电压若低于正常值, 则应检查 C_1 的性能, 如有无漏电现象等。2 号引脚和 4 号引脚接地, 其电压应为 0V, 若测试结果不是 0V, 则应检查连线是否接触良好, 焊点质量是否符合要求, 以及有无虚焊、假焊问题等。

3. 故障现象为电压放大倍数不可调或输出无声

当出现电压放大倍数不可调或输出无声现象时,应检测直流工作电压是否正常,电压放大倍数调整电路是否正常(如电位器 R_{W2} 的阻值及电容 C_2 的容量和极性是否正确),扬声器是否正常工作,电位器 R_{W2} 的阻值是否为最小值且是否可调,电位器、电容、扬声器和 LM386 的性能是否良好等。

4. 替换法检测

在上述检测过程中,有些元器件的故障不明显或不易判断,如电容是否漏电、LM386 的性能是否良好等,可以用相同规格的、经过检验且工作正常的元器件逐一替换,从而确定故障位置和原因。但使用替换法检测,应在排除电路其他故障的情况下进行,否则替换上的元器件有可能被损坏。

3.2.5 项目拓展

设计、制作与调试双声道音频功率放大器。

3.3 直流稳压电源的设计、制作与调试任务书

3.3.1 能力目标

- (1) 能熟练进行元器件参数的测试和元器件的选择。
- (2) 具备熟练查阅元器件手册等技术资料的能力。
- (3) 熟练掌握正确使用常用仪器仪表(如万用表、信号发生器、示波器等)、设备、工具(如电烙铁、镊子、螺丝刀、钳子、钻头、锉刀等)的方法。
- (4) 具备阅读直流稳压电源产品说明书的能力,以及分析中等复杂程度模拟电子产品整机电路原理图的能力。
- (5) 掌握电子产品从设计、制作、调试到出成品的全过程及一般方法;熟悉直流稳压电源的结构和基本设计方法,掌握其工作原理和使用方法。

(6) 具备直流稳压电源的设计、制作、调试及排除一般电路故障的能力,掌握印制电路板的设计、制作方法,培养手工设计印制电路板的能力。

(7) 具备对任务实现过程中出现的各种实际问题进行独立分析和解决的能力,在问题面前不急不躁、耐心处理;学习处理问题的技巧,培养良好的心理素质。

(8) 树立严谨的科学作风,培养在法规、安全规范范围内做事的职业素养。

(9) 培养生产观点、经济观点、全局观点及团队合作精神。

3.3.2 技术指标、功能要求和设计任务

1. 技术指标和功能要求

(1) 用三端集成稳压器(LM317)设计直流稳压电源,输出电压 $1.25\sim 15\text{V}$ 可调。

(2) 变压器输入交流电压为 220V ,输出交流电压为 18V 。

(3) 直流稳压电源的最大输出功率为 25W ,最大电流为 1.5A 。

(4) 系统具有扩流、限流保护、过压保护、指示灯、保险、开关等功能。

2. 设计任务

要求用一个LM317、一个变压器、一个3DD15D(扩流三极管),以及二极管、三极管、电阻、电容、电位器等辅助元器件设计、制作出一台可调式直流稳压电源。

(1) 根据技术指标和功能要求,查阅技术资料,初选电路。

(2) 通过查阅资料、设计、计算,确定电路方案,完成电路原理图设计。

(3) 根据所设计的电路原理图选择元器件,了解印制电路板的设计和制作方法。

(4) 将元器件正确焊接在印制电路板(机芯)上。

(5) 调试整机电路,检查其是否满足技术指标和功能要求。

(6) 排除可能产生的故障。

(7) 将机芯及外壳等正确装配成一台具有实用价值的产品。

(8) 撰写技术报告(综合实训总结报告)。

3.3.3 时间安排建议

建议实训时间为 40 学时或 20 学时，以下给出各环节的时间安排建议。

(1) 布置任务，发放并处理焊接工具——2 学时。

(2) 直流稳压电源的工作原理框图及电路原理图设计——16 学时（仅当实训时间为 40 学时时有此环节）。

一半时间集中在教室由教师统一指导，另一半时间去图书馆查阅资料，独立进行设计。要求画出系统框图、总机电路原理图，列出所需元器件清单。

(3) 了解印制电路板的设计与制作方法——4 学时（仅当实训时间为 40 学时时有此环节）。

根据元器件清单领取元器件，了解设计与制作印制电路板的方法。

(4) 发放元器件及印制电路图读图——2 学时。

(5) 机芯焊接与调试——8 学时。

检测元器件功能的好坏，焊接并调试机芯，使其达到功能要求。

(6) 总机装配与调试——6 学时。

(7) 总结及交流——2 学时。

可组织一次全班性的总结及交流会，每组代表分别上台发言，分享在综合实训中的经验、体会、建议。学生只要真有收获，发言就会很积极，并且在交流的过程中能够获益。在分组总结交流的基础上写出综合实训总结报告。

3.3.4 成绩评定方法

(1) 平时表现（主要是考勤及行为规范）——20%。

(2) 机芯焊接质量——30%。

(3) 总机装配质量——30%。

(4) 综合实训总结报告——20%。

3.3.5 综合实训总结报告的标准格式

封面——题目、姓名等信息

目录

一、设计任务书及主要技术要求

二、整机电路框图及整机功能说明

三、各单元电路的设计方案及原理说明

四、电路原理图和装配图

五、机芯焊接、调试及结果分析

六、总机装配、调试及结果分析

七、遇到的问题及解决问题的方法

八、收获、体会

九、意见、建议

十、附录

(1) 整机电路原理图。

(2) 元器件清单, 包括名称(如电阻、电容、开关、三极管等)、型号或数值(如9011、3DD15D、LM317、 $0.01\mu\text{F}$ 等)、数量。

(3) 总机面板图。

(4) 主要参考资料。

3.4 直流稳压电源的设计、制作与调试指导书

3.4.1 流程简介

(1) 方案设计——根据设计题目给定的技术指标和条件, 初步设计出完整的电路(这一阶段又称“预设计”阶段)。

这一阶段的主要任务是准备好实验文件, 包括画出整机电路框图、构成整机电路

框图的各单元的电路原理图及整机电路原理图，列出元器件清单。

衡量一个电路设计的好坏，主要看其是否达到了技术指标要求及能否长期可靠地工作。此外还应考虑经济性、操作性及维修是否方便等问题。为了设计出比较合理的电路，设计者除要具备丰富的经验和较强的想象力之外，还应该尽可能多地熟悉各种典型电路的功能。

(2) 方案试验——对所选定的设计方案进行安装和调试。

(3) 工艺设计——完成制作实验样机所必须进行的设计，包括整体结构设计及印制电路板设计等。

(4) 样机制作及调试——包括组装、焊接、调试、可靠性测试等。对于现场使用的系统，为保证其可靠性，还应测试以下几个内容：抗干扰能力、电网电压及环境温度变化到最大值时的系统可靠性、长期运行的稳定性、抗机械振动的能力。

(5) 总结鉴定——考核样机是否全面达到了技术指标要求，能否长期可靠地工作，同时写出设计总结报告。

以上简述了一个电子电路系统装置的设计、制作、调试全过程。在进行直流稳压电源综合实训教学时，只是模拟了以上各个阶段的工作，真实产品的设计、制作、调试更为严格和复杂。

3.4.2 直流稳压电源简介及设计任务分解

1. 直流稳压电源的基本功能

直流稳压电源（见图 3-6）的基本功能是将交流电转变为直流电，且在一定的技术要求下输出稳定的电压，为电路提供稳定的直流电压。

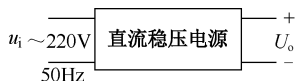


图 3-6 直流稳压电源

2. 直流稳压电源的电路框图

直流稳压电源的电路框图如图 3-7 所示。由图 3-7 可知，直流稳压电源由降压变压器、整流器、滤波器、稳压器和保护电路五大部分组成。

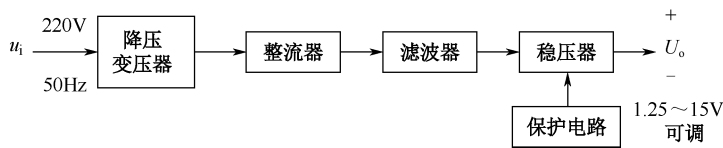


图 3-7 直流稳压电源的电路框图

3. 直流稳压电源的参考电路原理图

直流稳压电源的参考电路原理图如图 3-8 所示。

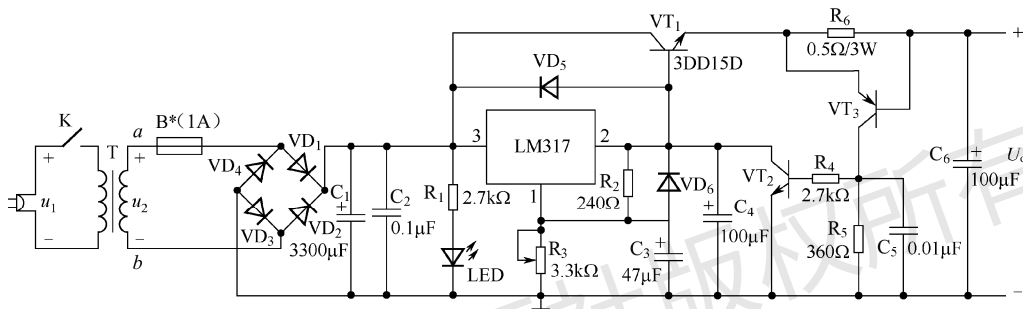


图 3-8 直流稳压电源的参考电路原理图

4. 直流稳压电源设计任务分解（实训子项目）

(1) 降压变压器。

降压变压器的作用是将 220V、50Hz 的交流输入电压降压后变为所需的约 18V 的交流电压，同时还可以起到隔离直流稳压电源与电网的作用。降压变压器的电路原理图如图 3-9 所示，为控制电源，在降压变压器初级接一个开关 K，作为总的电源开关；在降压变压器次级接一个熔断器 B*(1A)，作用是防止电流过大损坏降压变压器。

(2) 整流器。

整流器的内部电路是二极管桥式整流电路，其作用是将经降压变压器变换后的交流电压转变为单向的脉动直流电压，由于这种电压中存在很大的脉动部分（纹波），如果用它直接给负载供电，纹波的变化会影响后级电路的性能，所以必须对其进行处理。

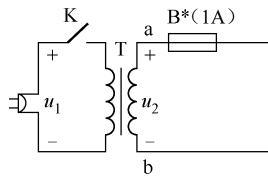


图 3-9 降压变压器的电路原理图

二极管桥式整流电路的优点是，输出电压高，脉动系数小（纹波电压小），每管

所承受的最大反向工作电压较其他方案的低，电源电压利用率高，因而整流效率也较高，并且降压变压器无需中心抽头；其缺点是，使用的二极管数量较多（ $VD_1 \sim VD_4$ 可采用 1N4001~1N4007），整流器总的压降较大，在大电流工作状态下，电路效率会下降。

（3）滤波器。

滤波器的内部电路是电容滤波电路，其作用是对整流部分输出的脉动直流电压进行平滑处理，使其成为含交流成分很少的、更加平滑的直流电压。滤波部分实际上是一个性能较好的低通滤波器，且其截止频率一定是低于整流输出电压基波频率的。虽然 C_1 越大，脉动系数 S 就越小，脉动成分就越少，但一般取：

$$R_L C_1 = (3 \sim 5) \frac{T}{2}$$

式中， T 为交流电网电压的周期， $T = \frac{1}{50} = 20\text{ms}$ 。

电容滤波电路的优点是，在输出电流 I_0 不大的情况下，体积小，成本低。电容滤波电路适用于负载电压较高，负载变动不大的场合。

桥式整流电容滤波电路原理图如图 3-10 所示。

（4）电源指示灯。

$$U_3 = 1.2U_2 = 1.2 \times 18 = 21.6\text{V}$$

普通发光二极管的正向导通电压按 2V 估算，可求出发光二极管上流过的正向导通电流 I 。电源指示灯的电路原理图如图 3-11 所示。

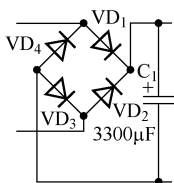


图 3-10 桥式整流电容滤波电路原理图

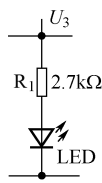


图 3-11 电源指示灯的电路原理图

（5）稳压器。

稳压器为直流稳压电源的核心部分。尽管经过整流和滤波后的直流电压可以充当某些电子电路的电源电压，但是其电压值的稳定性很差，受温度、负载、电网电压波动等因素的影响很大。因此还必须有稳压电路，以维持输出直流电压的基本稳定性。稳压器的电路原理图如图 3-12 所示，通过 LM317 的稳压后，输出电压在输入电网波动（ $\pm 10\%$ ）、输出负载变化及温度波动几种情况下仍然可以保持稳定。

LM317 的额定输出电压一般是不可调的,但可以通过外接 R_2 、 R_3 来扩展输出电压,达到调压作用。

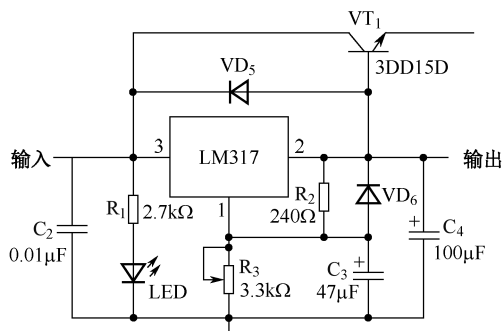


图 3-12 稳压器的电路原理图

输出端和调节端之间在工作时产生标称值为 1.25V 的基准电压 U_{REF} , 这个基准电压加在电阻 R_2 两端, 由于电压是恒定的, 所以有一个恒定的电流流过 R_3 , 得到的输出电压为

$$U_o = U_{REF}(1 + R_3/R_2) + I_{ADJ}R_3$$

式中, I_{ADJ} 代表一个误差项, 在设计 LM317 时应尽量减小 I_{ADJ} , 并使之等于一个常数, 不随输入电压和负载的变化而变化, 于是有

$$U_o \approx 1.25(1 + R_3/R_2)$$

由此可见, 当 R_2 的阻值固定 (通常取 240Ω) 后, 改变 R_3 的阻值, 输出电压 U_o 也随之改变, 即输出电压 U_o 可调。

发光二极管与限流电阻 R_1 串联接在稳压器的输入端, 当电源开关 K 闭合时, 发光二极管亮。

C_2 应靠近稳压器, 起消振作用 (防止自激振荡)。

C_3 为旁路电容, 可进一步抑制纹波, 当输出电压升高时, C_3 可防止纹波放大, 即将 R_3 上的纹波旁路掉。

由于使用了 C_2 、 C_3 等, 与任何反馈电路一样, 某些外接电容 (500pF~5000pF) 可能引起振荡, C_4 的作用就是消除这种振荡, 确保电路工作稳定。

由于 LM317 的输出电流固定且较小, 带负载能力差, 所以在实际工作中, 往往需要稳压器输出较大电流, 以提高带负载能力, 可利用 VT1 进行电流放大。将 VT1 接

成共集电极电路（射极跟随器），具有电流放大作用，由于电流较大， VT_1 采用大功率管 D7312（可用 3DD15D 替换）。

实际上稳压电源产品常常在输出端并联电压表，作为 U_o 的指示仪表。

（6）保护电路。

一个功能完善的直流稳压电源必须有一套完整且可靠的保护电路，在串联直流稳压电路中，若元器件使用不当，负载电流过大或输出短路的情况是可能发生的。此时，LM317 内部调整管的功耗将剧增，尤其是在短路的情况下，全部输入电压都加到调整管两端，这就会使调整管的功耗超过它的极限功耗 P_{CM} 从而损坏调整管，所以必须采用合适的过流保护电路。过流保护电路原理图如图 3-13 所示。

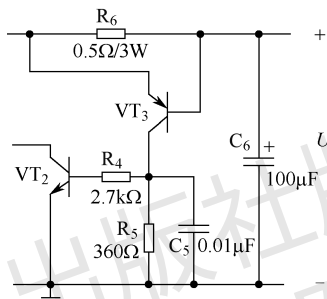


图 3-13 过流保护电路原理图

① 二极管保护电路。

大多数电容的串联内阻是很小的，当发生短路时放电电流将产生 20A 的脉冲尖峰，即使短路的时间很短，放电能量也足以损坏集成电路。当 LM317 的调整管有外接电容时，须加保护二极管以防止电容通过小电流端放电产生的电流进入调整管。

VD₅：防止 C_4 的反峰高压冲击。当调整管的输出端接有电容 C_4 而输入端被短路时，输出端电容将向调整管输出端放电，放电电流与电容量有关，也与输出电压及输入电压减小的速率有关。VD₅ 为 C_4 提供了一条放电回路，可防止 C_4 的反峰高压对 LM317 产生冲击。

VD₆：防止 C_3 的反峰高压冲击。由于在调整管的调整端接有旁路电容 C_3 ，所以当输入端或输出端短路时， C_3 上会产生一个反峰高压。当输出端短路时， C_3 通过 VD₆ 放电；当输入端短路时， C_3 通过 VD₆、VD₅ 放电，防止 C_3 的反峰高压冲击调整管。

② VT_2 和 VT_3 保护电路。

VT_2 和 VT_3 保护电路可以防止电流过载或输出短路时损坏元器件。 R_6 为采样电

阻,可对输出电流进行动态监视。 R_6 的阻值为 0.5Ω ,功率为 $3W$ 。当输出电流大于 $1.5A$ (额定电流), R_6 上的压降为 $1.5A \times 0.5\Omega = 0.75V$ (或大于 $0.7V$)时, VT_3 导通, R_5 的压降升高, VT_2 也导通,从而使从LM317的输出电流从 VT_2 上分流一部分,这样流进扩流管的电流便减小,输出电流也减小,从而可以达到过流保护的目的。

当输出电流减小到一定程度时, R_6 的压降小于 $0.7V$, VT_3 截止, VT_2 也截止,电路恢复正常。

C_5 :当负载恢复正常时, $I_o < 1.5A$, VT_3 截止,由于 C_5 已充电,可使 VT_2 再维持导通一段时间,直到 C_5 放电到不能维持 VT_2 导通为止,即可防止负载连续突变而造成的 VT_1 连续被冲击(防干扰),同时还具有交流旁路功能。

C_6 :输出电容,其作用一是滤波,二是防止输出电压突变对负载造成冲击(消振)。

3.4.3 直流稳压电源印制电路板的设计与制作

1. 印制电路板的设计

印制电路板的设计是十分重要的工艺环节,若设计不当,会直接影响整机的性能,甚至使其不能正常工作。

一般情况下,印制电路板的一面用于放置元器件,称为元器件面;另一面用于布置印制导线,称为印制面或焊接面。

(1) 元器件排列的原则。

- ① 按信号流向排列,一般从输入级开始,到输出级终止。
- ② 发热量大的元器件,应加散热器,并尽可能放置在有利于散热的位置或靠近机壳处(甚至可以考虑放在机壳上)。
- ③ 对于比较大或比较重的元器件,要另加支架或紧固件。
- ④ 热敏元器件要远离发热元器件。
- ⑤ 某些元器件或导线间有较大电位差,应加大它们之间的距离。
- ⑥ 尽可能缩短高频元器件的连接线,设法减小它们的分布参数和相互间的干扰,易受干扰的元器件应加屏蔽措施。
- ⑦ 可调元器件应布置在方便调节处。
- ⑧ 对称式的电路(如推挽功率放大器、差动放大器、桥式电路、两个相同的子

电路等)要注意元器件分布的对称性,尽可能使其分布参数一致。

⑨ 每个单元电路应以核心元器件为中心,围绕它进行布局。

⑩ 元器件排列应均匀、整齐、紧凑,单元电路之间的引线应尽可能短,引出线应尽量少。

⑪ 元器件到印制电路板边缘的距离要大于2mm。

⑫ 元器件外壳之间的距离应根据它们之间的电压来确定,不应小于0.5mm。

⑬ 印制电路板上应留有紧固的位置,紧固件应安装在安装、拆卸方便的位置。

⑭ 若有引出线,最好使用接线插头。

⑮ 有铁芯的电感线圈应尽量相互垂直安装,且应相互远离以减小相互间的耦合作用。

⑯ 相同的元器件应尽量采用相同的跨距。

本实训要求将电压表表头、电源开关、发光二极管、 R_3 (电位器)、输出接线柱安装在机壳前面板上;将电源变压器安装在底座上;将熔断器座和电源线安装在后面板上。在设计印制电路板时,应充分考虑散热片的位置。

(2) 元器件安装数据的获得。

① 查相关资料获得元器件的安装数据。

② 实测元器件获得安装数据。

(3) 布线的原则。

① 布线要短。

② 一般将公共地线布置在靠近印制电路板边缘处,距离边缘应留有一定距离。

③ 高频元器件和高频引线一般布置在印制电路板中间,以减小它们对地和机壳的分布电容。

④ 拐角要圆,因为直角、尖角对高频和高压信号影响较大。

⑤ 在条件允许的情况下,印制导线可适当加粗,间距可适当加大。

⑥ 单面板的印制导线不能交叉,当遇到需要交叉的情况时可绕行。

⑦ 走线正确,布线均匀、美观。

设计印制电路板是一项实践性很强的工作,以上原则在不同情况下有不同的侧重点,应根据具体的电路特点和机械结构要求灵活设计。

(4) 设计方法。

① 计算机辅助设计。

② 手工设计。

2. 印制电路的绘制

(1) 焊盘的绘制。

- ① 通常采用圆形焊盘。
- ② 绘制的焊盘内圆是加工钻孔的依据，定位孔要小。
- ③ 焊盘的外径 D 是钻孔直径 d 的 2 倍以上。
- ④ 钻孔直径 d 比焊件直径大 0.2mm 左右。

(2) 印制导线的绘制。

- ① 印制导线应简洁美观、无尖角，印制导线与焊盘之间的过渡应平滑。
- ② 分立元器件的印制导线宽度一般为 1.5~3mm；集成电路的印制导线宽度一般为 1mm 或以下；大电流导线的印制导线宽度应适当加粗。
- ③ 在同一印制电路板上，除电源线和地线以外，其余印制导线宽度应尽可能一致。
- ④ 公共地线最好布置在印制电路板边缘，同时应尽可能加粗地线，以提高屏蔽效果。

(3) 安装孔。

安装孔是为固定大型元器件或印制电路板本身而设计的孔位，其周围要留有足够的空间。

3. 印制电路板的手工制作方法

(1) 选择敷铜板，清洁板面。

- ① 根据电路要求，裁好敷铜板。
- ② 先用砂纸将敷铜板的边缘打磨光滑（去毛刺）。
- ③ 在敷铜板上放少许去污粉，加水，用布将板面擦亮，然后用干布擦干净。

(2) 复印印制电路。

将设计好的印制电路用复写纸复印在敷铜板上。在复印时，印制电路与敷铜板要对齐。

(3) 描漆或贴膜。

- ① 描漆：在印制导线和焊盘上描一层易干漆，要描均匀，薄厚适宜，边缘清晰、

无毛刺。

② 贴膜：用透明胶带将整个板面贴住，然后用刀片将不需要的部分刻掉。

(4) 腐蚀。

待漆干燥后，将印制电路板放到三氯化铁溶液中进行腐蚀，铜遇三氯化铁发生置换反应（大约需要 30~60min，可加热、加光照以加速反应）。

(5) 清洗。

待印制电路板上没有涂漆或贴膜部分的铜箔全部腐蚀掉后，将印制电路板取出并用水冲洗，晾干后用香蕉水溶去印制电路板上的漆皮或撕掉胶膜。

(6) 修整。

用刀片修整腐蚀好的印制电路板上的导线和焊盘边缘，使其平滑、无毛刺。

(7) 钻孔。

① 按图样所标尺寸钻孔。

② 孔要钻在焊盘中心，且应垂直于板面，内壁应光滑、无毛刺。

③ 用细砂纸将印制电路轻轻擦亮，用干布擦去粉末。

(8) 涂助焊剂。

① 助焊剂一般是用松香和酒精按 1:2 的体积比例配制成的溶液。

② 涂助焊剂的目的是便于焊接，保证印制导线性能，保护铜箔，防止产生铜锈。

③ 用毛刷沾上助焊剂在印制电路板上刷上薄薄一层后晾干，即完成了印制电路板的制作。

4. 印制电路图

(1) 直流稳压电源的元器件焊接位置图如图 3-14 所示。

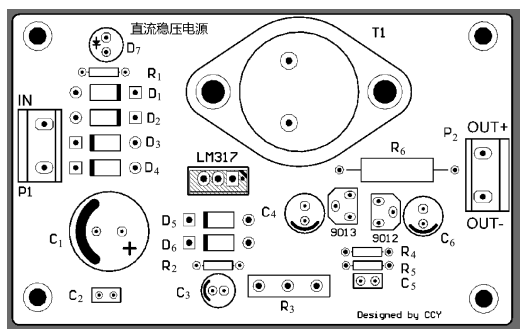


图 3-14 直流稳压电源的元器件焊接位置图

(2) 直流稳压电源的印制电路图如图 3-15 所示。

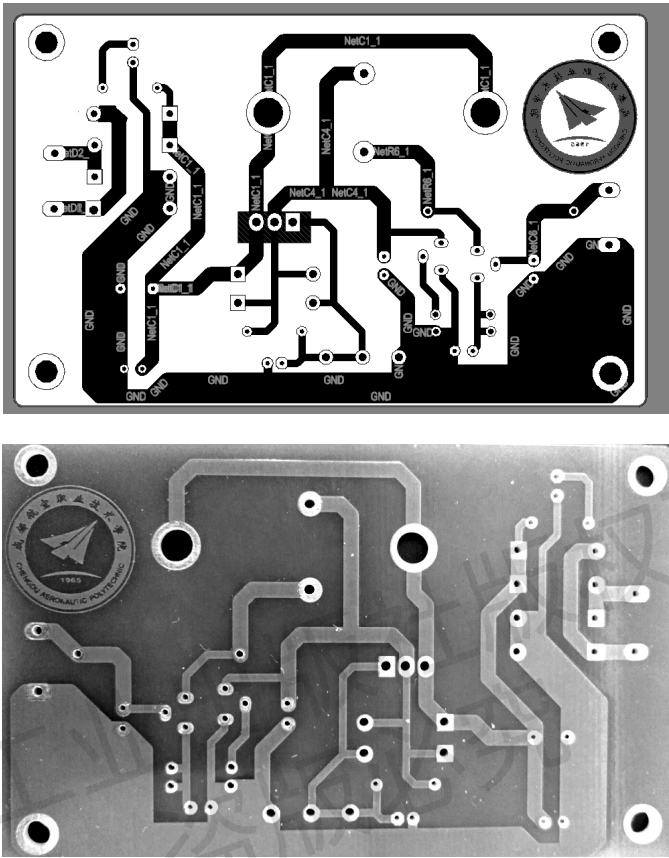


图 3-15 直流稳压电源的印制电路图

5. 直流稳压电源设计所用元器件及其作用

直流稳压电源设计所用元器件及其作用如表 3-5 所示。

表 3-4 直流稳压电源设计所用元器件及其作用

元 器 件	符 号	型号或数值	数量/个	作 用
电阻	R ₁	2.7kΩ	1	发光二极管的限流电阻（红紫黑棕棕）
	R ₂	240Ω	1	调压（红黄黑黑棕）
	R ₄	2.7kΩ	1	为 VT ₂ 提供导通/截止条件（红紫黑棕棕）
	R ₅	360Ω	1	为 VT ₂ 提供导通/截止条件（橙蓝黑黑棕）
	R ₆	0.5Ω/3W	1	采样，以便对输出电流进行动态监视（绿黑银金）
电位器	R ₃	3.3kΩ	1	调压

续表

元 器 件	符 号	型号或数值	数量/个	作 用
电容	C ₁	3300μF	1	滤波电容, 滤除交流成分, 使脉动直流电压更加平滑
	C ₂	0.01μF	1	消振电容, 靠近稳压器, 起消振作用, 即防止自激振荡
	C ₃	47μF	1	旁路电容, 当输出电压升高时, 可进一步抑制纹波, 防止纹波放大
	C ₄	100μF	1	消振电容, 消除某些外接电容(500pF~5000pF)可能引起的振荡
	C ₅	0.01μF	1	防止负载连续突变而对 VT ₁ 造成连续冲击(防干扰), VT ₂ 的交流旁路电容
	C ₆	100μF	1	输出电容, 滤波、防止输出电压突变对负载造成冲击(消振)
二极管	VD ₁ ~VD ₄	1N4007	4	桥式整流, 将交流信号变成脉动直流信号
	VD ₅ 、VD ₆		2	保护, 防止调整管外接电容通过小电流端放电产生的电流进入调整管
发光二极管	VD ₇		1	作为电源指示灯
三极管	VT ₁	D7312	1	采用大功率管扩流(可用 3DD15D 替换)
	VT ₂	9013	1	过流保护(NPN 型三极管)
	VT ₃	9012	1	过流保护(PNP 型三极管)
稳压器 IC	LM317	LM317	1	稳压
变压器	T		1	将输入的 220V、50Hz 的交流电压降压
开关	K		1	控制电源的开、关
熔断器	B*	1A	1	防止电流过大损坏元器件
电压表表头			1	输出电压指示

3.4.4 直流稳压电源机芯焊接

1. 焊接前的准备

参照本书 1.5 节正确安装元器件、焊接机芯。注意不同类型或带有极性的元器件不要接错或接反方向。

(1) 对被焊元器件的引线进行清洁、预镀锡和成型。

(2) 清洁印制电路板的表面, 主要目的是去除氧化层, 检查焊盘和印制导线是否有短路点等缺陷。

(3) 熟悉相关印制电路板的装配图, 并检查所有元器件的型号、规格及数量是否符合图纸的要求。

2. 焊接要点

元器件焊接的顺序原则上是先低后高、先轻后重、先耐热后不耐热。一般元器件焊接顺序依次是电阻、电容、二极管、三极管、集成电路、大功率管等。

(1) 焊接电阻 (5 个)。

色环电阻 (见图 3-16) 的颜色说明: 棕 1、红 2、橙 3、黄 4、绿 5、蓝 6、紫 7、灰 8、白 9、黑 0、金 0.1、银 0.01。

记忆口诀: 棕 1 红 2 橙上 3, 4 黄 5 绿 6 是蓝, 7 紫 8 灰 9 雪白, 黑色是 0 须记牢。

误差: 金色表示 $\pm 5\%$, 银色表示 $\pm 10\%$, 无色表示 $\pm 20\%$, 棕色表示 $\pm 1\%$, 红色表示 $\pm 2\%$ 。

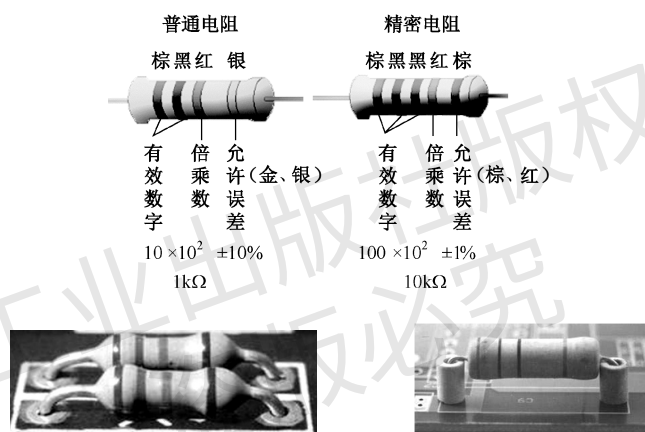


图 3-16 色环电阻

小功率电阻建议采用卧式插装方式进行插装; 大功率电阻 (3W 以上) 建议采用立式插装方式进行插装。

(2) 焊接瓷片电容 (2 个, 103)。引脚可以保留 3~5mm 的高度, 引线成型焊接。

(3) 焊接二极管 (6 个)。

二极管上有一圈白线的一端为负极, 如图 3-17 所示。注意极性不要接反。

(4) 焊接 3300 μ F 大容量电解电容 (体积最大) 及电解电容。

在所有电解电容根部接触印刷电路板后才可焊接, 注意极性不要接反。

(5) 焊接三极管 9012 (PNP 型) 和 9013 (NPN 型)。

9012 和 9013 这两个三极管 (见图 3-18) 的类型是相反的, 千万不要接错, 否则在进行机芯测试时可能会烧毁熔断器。为了散热, 引脚根部距印制电路板 6mm 较好。



图 3-17 二极管引脚排列图

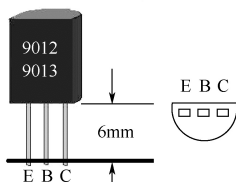


图 3-18 三极管引脚排列图

(6) 焊接三端可调集成稳压器 LM317。LM317 决不能装反，焊接时应仔细核对它的引脚排列图（见图 3-19）。由于它是发热器件，所以应尽量高一些，以便于散热。

(7) 焊接大功率三极管 D7312（3DD15D）。

先在印制电路板相应位置上焊锡（避免氧化），再在去掉元器件引脚上的氧化层后对其上锡，然后用两个小螺钉将大功率三极管紧贴印制电路板装配好，并焊接两个引脚。3DD15D 的引脚排列图如图 3-20 所示。

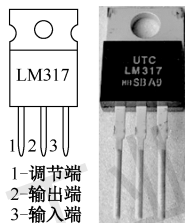


图 3-19 LM317 的引脚排列图

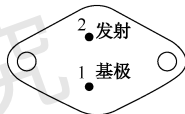


图 3-20 3DD15D 的引脚排列图

(8) 不焊接在机芯上的元器件有电源线（带插头）、电源开关、降压变压器、熔断器、发光二极管、电位器 R_3 、电压表表头、输出端接线柱。

(9) 检查元器件是否焊接完，是否焊接错，方向是否焊接反。

(10) 利用万用表检查输出端是否短路、开路，装配孔是否与电路短接。

(11) 焊接测试桩（最好焊接 5 个，为测试方便也可焊接 6 个）。

测试桩不要太高，以免与其他元器件引脚相碰。

外接变压器（两个输入端）、外接电压表和输出端接线柱（两个）、外接可调电阻（电位器）、预留发光二极管接线柱。

(12) 将焊接面上元器件引脚高出焊点的部分用偏口钳剪去（大功率三极管的引脚太粗，可不剪去）。

机芯焊接时需要焊接的元器件及使用的工具如图 3-21 所示。



图 3-21 机芯焊接时需要焊接的元器件及使用的工具

3.4.5 调试的步骤与方法

由于直流稳压电源的电路已经很成熟，所以可以直接将整机电路全部焊接完成后分模块进行调试。

1. 熟悉直流稳压电源的技术性能指标

直流稳压电源的输出电压 U_o 会受到输入电压 U_i 、负载电流 I_o 和环境温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 这 3 个因素的影响，即

$$U_o = f(U_i, I_o, T)$$

(1) 最大输出电流 I_M 。

I_M 是指直流稳压电源在正常工作情况下能输出的最大电流，其取决于调整管的最大允许功耗和最大允许工作电流。

(2) 输出电压和电压调节范围。

输出电压和电压调节范围根据使用对象来确定。对于需要固定电源的设备，其直流稳压电源的电压调节范围要小。对于需要商用电源的设备，其直流稳压电源的电压从0V起调，调节范围要大，且要连续可调。

(3) 保护特性。

当电流过大或短路时，调整管有损坏的危险，应自动启动快速响应的过流保护功能。

当直流稳压电源出现故障时，输出电压过高，会危害负载，应自动启动快速响应的过压保护功能。

(4) 效率。

直流稳压电源是一个换能器，存在需要提高换能效率的问题，提高换能效率主要是为了降低调整管的功耗，这样既能节能又能提高直流稳压电源的工作稳定性。

(5) 过冲幅度。

过冲：由于某一因素影响量瞬变，输出电压超出稳压区。

过冲幅度：输出电压偏离额定值的最大幅度。

① 交流供电电源阶跃变化时的过冲幅度[220V (±10%) 阶跃变化]。

② 负载阶跃变化时的过冲幅度（负载电流从空载到满载之间阶跃变化）。

(6) 输入电压调整因数。

输入电压经整流、滤波后的变化量与所引起的输出电压的变化量之比称为输入电压调整因数。

$$S_u = \left. \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} \right|_{\Delta T=0, \Delta I_o=0}$$

(7) 稳压系数。

输出电压和输入电压的相对变化量之比称为稳压系统，表征电源的稳压性能。

$$S_r = \left. \frac{\frac{\Delta U_o}{U_o}}{\frac{\Delta U_i}{U_i}} \right|_{\Delta T=0, \Delta I_o=0} \quad \text{或} \quad S_r = S_u \frac{U_i}{U_o}$$

(8) 输出电阻。

在输入电压和温度系数不变的情况下，输出电压变化量和负载电流变化量之比称为输出电阻。

$$R_o = \left. \frac{-\Delta U_o}{\Delta I_o} \right|_{\Delta T=0, \Delta U_i=0}$$

式中，负号表示 ΔU_o 与 ΔI_o 变化方向相反。

(9) 温度系数。

在输入电压和负载电流均不变的情况下，单位温度变化所引起的输出电压变化称为温度系数，又称温度漂移。

$$S_T = \left. \frac{\Delta T_o}{\Delta T} \right|_{\Delta T=0, \Delta U_i=0}$$

(10) 纹波电压。

在额定工作电流的情况下，输出电压中的交流分量称为纹波电压。纹波电压有效值的符号为 U_γ ，因为输出电压中的交流分量主要来自输入电压中的交流分量 $U_{i\gamma}$ ，所以 $U_{i\gamma}$ 可视为输入电压的变化量。显然，稳压电路本身会对这种变化量进行抑制，所以：

$$U_\gamma \approx S_u U_{i\gamma}$$

有时也常用纹波抑制比来说明纹波电压的大小：

$$20 \lg \left(\frac{U_{i\gamma}}{U_\gamma} \right)$$

显然纹波抑制比越大越好。上述其余几个指标越小越好。

2. 在通电测试前进行检查

(1) 检测降压变压器的绝缘电阻，以防止降压变压器漏电而危及人身或设备安全。可采用兆欧表测量初级绕组与次级绕组之间、各级绕组与接地屏蔽层之间、各级绕组与铁芯之间的绝缘电阻（应大于 $1000M\Omega$ ），若用万用表的高阻挡检测，则示值应为无穷大。

(2) 降压变压器的初级绕组和次级绕组不能反，否则会损坏降压变压器或使直流稳压电源发生故障。

(3) 检查熔断器是否装入。

(4) 整流二极管和滤波电容的极性不能接反。

(5) LM317 的输入端、输出端和公共端不能接错，特别是公共端不能开路，否

则可能导致负载损坏。若输入端和输出端接反,则当输出端电压比输入端电压高 7V 以上时,将击穿内部调整管。

(6) 保护二极管极性不能接反,否则不能起到保护作用。

(7) 3DD15D 的 3 个电极不能接错,两个类型相反的三极管 9012 (VT_3) 和 9013 (VT_2) 不能接反。

(8) 输出端不能短路。

3. 空载检查

(1) 断开降压变压器与后级电路,接通 220V 交流电源,用万用表的交流电压挡测量降压变压器次级绕组的交流电压,应与设计值一致。再检查降压变压器通电后温度是否明显升高甚至发烫,若是,则说明降压变压器质量差,不能使用;若不是,则可进行下一步操作。

(2) 断开滤波器与后级电路,将降压变压器与后级电路的连线恢复,接通 220V 交流电源,检查整流二极管是否发烫,用万用表的直流电压挡检测桥式整流电容滤波电路的输出直流电压是否与设计值一致。若无问题则可进行下一步操作。

(3) 断开负载,将滤波器与后级电路的连线恢复,接通 220V 交流电源,测量输出电压是否与设计值一致。再检查稳压器输入端、输出端的电压差是否大于最小电压差 (2~3V)。

4. 直流稳压电源几个性能指标的测量

(1) 测量最大输出电流 I_M 。

方法: 令 $R_L = \infty$, 测试输出电压 U_o 。接上 R_L , 并逐渐减小 R_L , 直到 U_o 下降 5%, 此时的电流即 I_M 。

(2) 测试 U_o 的调节范围。

方法: 令 $R_L = \infty$, 调节 R_3 测试 $U_{o\min} \sim U_{o\max}$ 。

(3) 测量纹波电压。

方法: 使 $U_o = 18V$ 、 $I_o = 200mA$ 。用交流毫伏表并接在负载两端测出纹波电压。

(4) 测量输出电阻 r_o 。

调节 R_3 使 $U_o = 18V$, 调节 R_L 使 $I_{o1} = 200mA$ 、 $I_{o2} = 25mA$ 。

测 $I_0=200\text{mA}$ 时的 U_{o1} ，以及 $I_{o2}=25\text{mA}$ 时的 U_{o2} 。

根据表 3-6 计算 r_o 。

表 3-6 直流稳压电源性能指标测试表

I_0	U_o	$\Delta I_0 = I_{o1} - I_{o2}$	$\Delta U_o = U_{o1} - U_{o2}$	$r_o = \Delta U_o / \Delta I_0$
$I_{o1} = 200\text{mA}$	$U_{o1} =$	175 mA		
$I_{o2} = 25\text{mA}$	$U_{o2} =$			

3.4.6 故障及其诊断与排除方法

下面简要介绍直流稳压电源在安装调试过程中常出现的故障，及故障的诊断与排除方法。

(1) 降压变压器故障。

故障现象一：降压变压器次级无交流电压输出。

产生原因：接线插头断路、电源开关断路、降压变压器损坏或熔断器熔断等。

查找方法：先测量降压变压器的初级是否有 220V 交流电压，从而判断故障点在降压变压器之前还是之后。若初级无 220V 交流电压，则说明是接线插头断路或电源开关断路；若初级有 220V 交流电压，则可取出熔断器测量，进一步查找故障源。

故障现象二：当 K 闭合时，指示灯不亮；当 K 断开时，指示灯亮。

产生原因：电源开关接反了。

(2) 桥式整流电容滤波电路故障。

故障现象一：输出直流电压约为 $1.4U_2$ （正常情况下应为 $1.2U_2$ ）。

产生原因：输出空载。

故障现象二：输出直流电压约为 $1U_2$ （正常情况下应为 $1.2U_2$ ）。

产生原因：桥式整流电路中的二极管有一对没有正确接入电路，使电路变成半波整流电路。

故障现象三：输出直流电压约为 $0.9U_2$ （正常情况下应为 $1.2U_2$ ）。

产生原因：滤波电容未能接入电路，滤波电路没有工作。

故障现象四：输出直流电压约为 $0.45U_2$ （正常情况下应为 $1.2U_2$ ）。

产生原因：滤波电容未正确接入电路，导致电容滤波电路没有工作，而且桥式整流电路中的二极管有一对没有正确接入电路，使电路变成半波整流电路。

故障现象五：输出直流电压纹波过大，即脉动系数 S 太大。

产生原因：滤波电容不够大，或负载阻值太小。

(3) 稳压器故障。

故障现象一：稳压器的输出电压与输入电压完全相等（正常情况下输出电压比输入电压小 $2\sim 3V$ ）。

产生原因：可能是 LM317 的公共端开路。

故障现象二：稳压器电路的输出电压固定为 $1.25V$ 。

产生原因： R_3 被短路，使输出只能为 $1.25V$ 的基准电压 U_{REF} 。

故障现象三：电压表指示的输出电压 U_o 与 R_3 的变化相反，即 R_3 增大时输出电压变小， R_3 减小时输出电压变大。

产生原因： R_3 接反。

故障现象四：最大输出电流 I_M 太小。

产生原因：3DD15D 没有正常工作。

(4) 保护电路故障。

故障现象：失去过流保护作用。

产生原因： VT_2 和 VT_3 接反或 VT_2 和 VT_3 的引脚接错。

3.4.7 整机装配

1. 认真仔细

在整机装配完成后，若发现装配不正确，须拆卸检查。因为有些元器件可能会在拆卸过程损坏，所以拆卸时务必认真仔细。

2. 电源开关

电源开关最易损坏，若不听讲解自行装配，装配正确率约为 40%。

先刮干净引脚上的氧化层再镀锡，以便于焊接。焊接时加热时间不能过长。

应按正确方向装入面板，面板装上后不能再取出，否则易损坏。

3. 接线柱

取金属垫片、塑料垫片。金属螺杆不能接触面板。红、黑螺杆螺纹不同，不可混淆。

先垫塑料垫片（绝缘），再垫金属垫片（加强度），再上螺帽，用工具拧紧，再上外面的螺帽。

接线柱如图 3-22 所示。

4. 保险座（组装难度最大）

先取帽子，再取螺帽，取一层垫片，留一层，从外面上到面板里面。垫一层垫片，再上螺帽，一定要用钳子拧紧。保险座如图 3-23 所示。

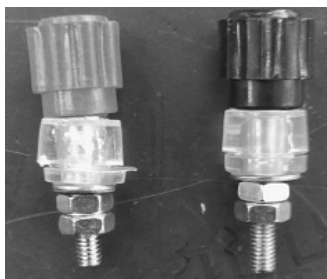


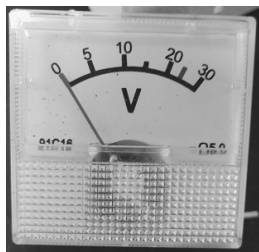
图 3-22 接线柱



图 3-23 保险座

5. 电压表表头

电表表头从面板里面往外装。用编织带压住电压表表头，螺钉从外面往里面装。螺帽不要拧得太紧，只要拧平就行，以便于后续装配，并避免拧破编织带。电压表表头如图 3-24 所示。



(a) 正面



(b) 反面

图 3-24 电压表表头

6. 发光二极管

发光二极管从里往外装，用手摸到刚好有一点出头时的位置最好。

发光二极管长引脚端为正极。

利用编织带，上下用钻床（或用镊子）钻两个小孔，将发光二极管的两个引脚穿过小孔。先打发光二极管的孔，再打电压表表头的孔。

7. 电位器

将电位器两边小耳朵弯进去，往里扣。

一般的旋钮顺时针旋转表示增加、逆时针旋转表示减小。使电位器螺杆面对自己，将左边两个引脚焊接在一起，就能保证旋钮的旋转方向符合要求。

先将电位器的引脚刮去氧化层再镀锡，将引脚稍往外压一点，从里往外装，以免与面板及其本身的外壳短路。使3个引脚处于上方，以便焊接。

上垫片，拧紧螺帽。

电位器如图 3-25 所示。

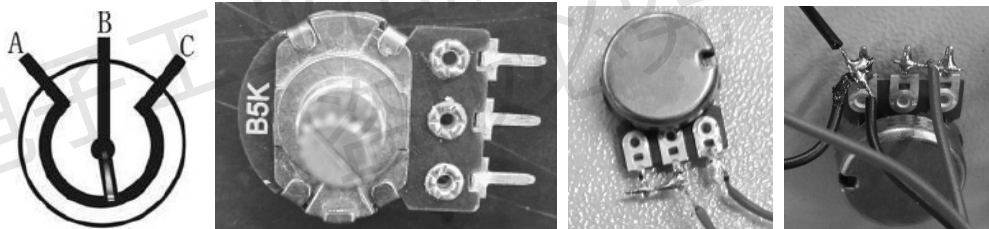


图 3-25 电位器

8. 降压变压器

降压变压器原边为两根红线，接 220V 交流电源；副边为绿线，为双 9V (18V)，使用两边的线，将中间的线剪掉。

降压变压器到开关的距离要近。

降压变压器前不要碰开关，后不要碰熔断器，熔断器内为弹簧，装上熔断器后会冒出来一截。

将降压变压器安装在印制电路板的合适位置处。可装散热孔，也可借用机脚孔，要保证不超出机壳。若用机脚孔，一定要用长螺钉。走线方便，美观。

9. 电源线

电源线从外穿入内,先打一个结,剥线时不要伤到里面的金属线,以避免短路(电压为220V,危险)。

接线要尽量短(1mm),走线合理。一剥、二拧、三镀锡(多股软细导线)。

焊接完后不能裸露金属部分。

装配材料及使用的工具、装配示例和装配面板图分别如图3-26~图3-28所示。

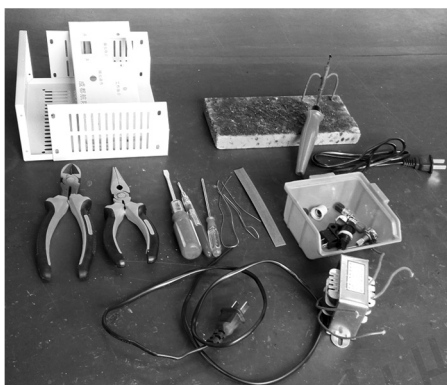


图 3-26 装配材料及使用的工具

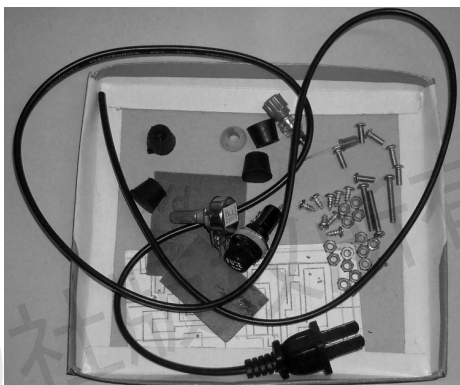


图 3-27 装配示例



图 3-28 装配面板图

3.4.8 项目拓展

(1) 查阅资料,设计正、负两组可调输出集成稳压电源,要求输出电压可调范围分别为1.25~18V、-18~-1.25V,最大输出电流为1.5A。

(2) 查阅资料,设计效率更高的开关稳压电源。