计算机与信息工程学院(人工智能学院)

课程设计报告

（ 2023 — 2024 学年 第 二 学期）

课程名称： 电子技术基础实践

班 级： 电子2202

学 号： 202221018045

姓 名： 史经辞

指导教师：袁建华 褚御芝 武晓光 胡方强

2023 年 6 月

|  |
| --- |
| 课程设计题目：  小型复杂多级模拟电子系统的设计与装调 |
| 目的与任务：  1.学习信号逐级放大实现系统目标的原理与方法；  2.学习音调特性控制方法与实现原理；  3.了解集成功率放大器内部电路工作原理与应用；  4.掌握贴片电阻电容的焊接方法；  5.掌握音响放大器主要性能参数的测试方法；  6.综合运用所学知识和能力，掌握音响放大器的设计方法与小型多级电子线路系统装  调技术和多级放大系统级联调试方法。 |
| 内容和要求：  1.功能要求：音调控制、音量控制  2.实验器材：   |  |  | | --- | --- | | 实验器材名称 | 数量 | | 集成功率放大器LM386 | 1只 | | 集成运放LM324 | 1只 | | 8/2W负载电阻（代替8/2W扬声器1只） | 1只 | | 测试时采用信号发生器，实际工作时输入音源（手机或 PC等） | 1台 | | 电源电压+VCC=+12V | 1台 |   3.主要技术指标：  额定功率＞1.2w ；  负载阻抗＝8；  频率响应＝40Hz，=10kHz；  输入阻抗≥1k；  音调控制特性：相对1kHz处增益为0dB，100Hz和10kHz处有±12dB的调节范围，=≥20dB；  4.音响放大器系统设计过程与音调控制特性仿真  5.测量内容:  (1)测量音调控制特性，并绘制音调控制特性曲线；  (2)测量频率为1kHz时的输出功率及整机电压增益；  (3)测量整机频率响应特性曲线；  6.实际系统音效及控制效果试听 |
| 设计内容 一、系统设计 音响放大器在生活中广泛应用，可实现音频信号放大和语音音调控制等功能。本次课程设计旨在通过设计和焊接PCB板来构建简易音响放大器系统。该系统主要采用以下电子元件：LM324集成运放芯片1片、LM386功率放大器芯片1片、若干电阻电容、3只电位器和7只排针。使用这些元件及若干的杜邦线连接即可实现上述功能。 二、硬件系统框图   图2-1 硬件系统框图  硬件系统框图如上图所示。可以看出，本系统主要由三部分组成，每部分的作用如下：  前置放大器：将放音机输出的音乐信号与放大。  音调控制器：主要是控制、调节音响放大器的幅频特性。  功放：给音响放大器的负载(扬声器)提供一定的输出功率。 三、模块设计及参数计算 **1.设计过程**  （1）确定整机电路的级数  （2）根据各级的功能及技术指标要求分配电压增益  （3）分别计算各级电路参数，通常从功放级开始向前级逐级计算  （4）根据技术指标要求，音响放大器的输入为50mV时，输出功率大于1W，则输出电压Vo2.8V。总电压增益>56。  Snipaste_2023-06-25_13-13-23  图3-1 多级电压增益 |
|
| **2.前置放大器**  前置放大器的作用是将放音机输出的音乐信号放大。原理图和仿真图如下所示：   |  |  | | --- | --- | | 图3-2 前置放大器原理图 | 图3-3 前置放大器仿真图 |  前置放大器采用反向加法器电路，根据系统设计增益分配和话音放大器、录音机输出信号情况，取R4=30K，R7=15K，根据反向加法器公式：   计算可知放大倍数AU=-2  **3.音调控制器**  音调控制器主要用于控制、调节音响放大器的幅频特性使声音变得更好听一些。其只对低音频与高音频的增益进行提升与衰减，中音频(=1kHz)的增益保持0dB不变。因此，音调控制器的电路可由低通滤波器与高通滤波器构成。原理图如下图所示：    图3-4 音调控制器原理图  设电容，在中、低音频区，可视为开路，作为低通滤波器；在中、高音频区，、可视为短路，作为高通滤波器。    图3-5 音调控制器的幅频特性曲线   1. 当时，可视为开路，该控制器可视作为低通滤波器。   当的滑臂在最左端时，对应于低频提升最大的情况（即阻值为0%，阻值为50%时，低频放大），等效电路如下图所示：    图3-6 等效电路1  分析表明，上图所示电路是一个一阶有源低通滤波器，其增益函数的表达式为：      (i) 当时，可视为开路，运算放大器的反向输入端视为虚地，的影响可以忽略，此时电压增益为：    (ii) 当时，因为，带入计算式得      此时，电压增益相对下降了，即3dB。  (iii) 当时，由计算式得，      此时，电压增益相对下降了17dB。  当滑臂在最右端时，对应于低频衰减最大的情况（即阻值为100%，阻值为50%时，低频衰减），等效电路如下图所示：    图3-7 等效电路2  (2) 当时，、可视为短路，作为高通滤波器。音调控制器的高频等效电路如下图所示：   |  |  | | --- | --- | | 图3-8 等效电路3 | 图3-9 三角形等效电路 |   如图3-5所示，与、组成星形连接，将其转换成三角形连接，如图3-6所示。  其中：    取，则根据转换公式，有。  ①当的滑臂在最左端时，对应于高频提升最大的情况（即阻值为50%，阻值为0%时，高频放大），等效电路如下图所示：    图3-10 等效电路4  分析表明，上图所示电路是一个一阶有源高通滤波器，其增益函数的表达式为：      由等效电路图推导可得：  (i) 当时，，（因）  (ii) 当时，电压增益*A*V3相对于*A*V0提升了3dB；  (iii) 当时，电压增益*A*V4相对于*A*V0提升了17dB。  ②当滑臂在最右端时，对应于高频衰减最大的情况（即阻值为50%，阻值为100%时，高频衰减），等效电路如下图所示：    图3-11 等效电路5  在实际应用中，通常先提出对低频区处和高频区处的提升量或衰减量x(dB)，再根据下式求转折频率(或)和(或),即    已知=100Hz，=10kHz，x=12dB。得到转折频率及；  Hz， Hz ；  kHz ，kHz 。  ≥20dB。其中，R31、R32、RP31一般取几千欧姆至几百千欧姆。现取，则    由式得 ,取标称值0.01µF，即C31=C32=0.01µF。  由式，有，则  由式得，取标称值15k。  由式得，取C33=470pF  取，，级间耦合与隔直电容。  3.功率放大器  功率放大器(简称功放)的作用是给音响放大器的负载RL(扬声器)提供一定的输出功率。当负载一定时，希望输出的功率尽可能大，输出信号的非线性失真尽可能地小，效率尽可能高。本系统采用LM386集成功率放大器，采用厂家手册，原理图如下图所示：    图3-12 功率放大器原理图 四、系统软件仿真 结合实验原理和参考资料，利用Multisim仿真软件对电路进行搭建。总仿真图如下所示：    图4-1 音频放大器系统仿真图   1. 音调控制特性测试   将音调控制器电位器均调整在中间位置，输入为50mV(有效值)，1kHz的输入信号，调整功放输入电位器，使功放输出为1~1.2Vpp，固定功放输入电位器不动。   1. 测低频特性   将RP2的滑臂置于中间位置。  将RP1的滑臂置于最左端，频率从20Hz至25kHz变化，记下对应电压增益如下表所示:  表4-1 音调控制器低阻幅频数据   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/Hz** | **20** | **40** | **fL160** | **fLx100** | **fL2400** | **f0=1K** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 0.107 | 0.154 | 0.213 | 0.326 | 0.846 | 1.11 | | **AV** | 0.759 | 1.09 | 1.51 | 2.31 | 6.00 | 7.87 | | **dB** | -2.40 | 0.75 | 3.58 | 7.28 | 15.56 | 17.92 |     图4-3 音调控制器低阻幅频特性曲线 |
| 1. 将RP1的滑臂置于最右端，频率从20Hz至25kHz变化，记下对应电压增益；   表4-2 音调控制器低通幅频数据   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/Hz** | **20** | **40** | **fL160** | **fLx100** | **fL2400** | **f0=1K** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 9.30 | 7.36 | 5.60 | 3.72 | 1.37 | 1.12 | | **AV** | 65.96 | 52.20 | 39.72 | 26.38 | 9.72 | 7.94 | | **dB** | 36.38 | 34.35 | 32.00 | 28.42 | 19.75 | 17.99 |     图4-4 音调控制器低通幅频特性曲线   1. 测高频特性   将RP1的滑臂置于中间位置。  （1）将RP2的滑臂置于最左端，频率从20Hz至25kHz变化，记下对应电压增益：  表4-3音调控制器高通幅频数据   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/kHz** | **f0=1** | **fH12.5** | **fHX8** | **fH210** | **25K** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 1.11 | 1.51 | 3.60 | 4.36 | 9.12 | | **AV** | 7.87 | 10.71 | 25.53 | 30.92 | 64.68 | | **dB** | 17.92 | 20.60 | 28.14 | 29.80 | 36.21 |     图4-5 音调控制器高通幅频特性曲线  （2）将RP2的滑臂置于最右端，频率从20Hz至25kHz变化，记下对应电压增益；  表4-4 音调控制器高阻幅频数据   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/kHz** | **f0=1** | **fH12.5** | **fHX8** | **fH210** | **25** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 1.13 | 0.634 | 0.264 | 0.220 | 0.117 | | **AV** | 8.01 | 4.50 | 1.87 | 1.56 | 0.83 | | **dB** | 18.07 | 13.06 | 5.44 | 3.86 | −1.62 |     图4-6 音调控制器高阻幅频特性曲线  4.频率响应特性测量  (1)音响放大器的输入端接vi(等于 50mV 有效值)，  (2)RP1和RP2置于中间位置，  (3)调节RP3使输出电压约为最大不失真输出电压的50%。  (4)测量音响放大器相对于中音频fo(1kHz)的电压增益。  (5)保持 vi=50mV（有效值）不变，使信号发生器的输出频率fi从20Hz至50kHz变化，测出负载电阻RL上对应的输出电压Vo，注意测量电压增益相对于中频电压增益下降3dB时对应低音频截止频率fL和高音频截止频率fH。  最大不失真电压为9.2V，RP3调节至4.62V  表4-5 频率响应特性数据表   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/Hz** | ***20*** | ***40*** | ***60*** | ***100*** | ***400*** | ***f0=1k*** | ***2.5k*** | ***4k*** | ***8k*** | ***10k*** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 0.906 | 1.84 | 2.54 | 3.43 | 4.52 | 4.62 | 4.64 | 4.63 | 4.62 | 4.63 | | **AV** | 6.43 | 13.05 | 18.01 | 24.33 | 32.06 | 32.77 | 32.91 | 32.84 | 32.77 | 32.84 | | **dB** | 16.16 | 22.32 | 25.10 | 27.73 | 30.11 | 30.31 | 30.34 | 30.32 | 30.31 | 30.32 | | **f/Hz** | ***25k*** | ***30k*** | ***40k*** | ***50k*** | ***100k*** | ***200k*** | ***300k*** | ***400k*** | ***500k*** | ***600k*** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 4.62 | 4.63 | 4.60 | 4.54 | 4.48 | 3.95 | 3.18 | 2.28 | 1.53 | 0.981 | | **AV** | 32.77 | 32.84 | 32.62 | 32.20 | 31.77 | 28.01 | 22.55 | 16.17 | 10.85 | 6.96 | | **dB** | 30.31 | 30.32 | 30.28 | 30.17 | 30.04 | 28.94 | 27.06 | 24.17 | 20.71 | 16.86 |     图4-7 音调控制器频率响应特性曲线    图4-8 交流分析仿真频率特性曲线  由仿真数据可知，中频(fo=1kHz)电压增益为30.31dB;  中频电压增益下降3dB(约27.31dB截止频率fL和高音频截止频率fH：  **fL≈100Hz，fH=300kHz**   1. 额定功率PO测量   (1)函数信号发生器的输出的频率fi=1kHz，电压Vi=50mV（有效值）的信号。  (2)功率放大器的输出端接额定负载电阻RL(代替扬声器)。  (3)音调控制器的两个电位器RP1、RP2置于中间位置，音量控制电位器置于最大值。  (4)用双踪示波器观测Vi及Vo的波形，逐渐增大输入电压Vi，直到 Vo的波形刚好不出现削波失真，此时对应的输出电压为最大输出电压,由式即可算出额定功率 PO（注意：在最大应迅速减小Vi，否输出电压测量完成后则会因测量时间太久而损坏功率放大器）。仿真波形和电压情况如下图所示：    图4-9 刚好没失真时仿真波形图    图4-10 电压探针示意图  输出电压为最大输出电压时的Vi的振幅为70mVp，Vo的峰峰值为10.23V，则有效值  Vo≈3.62V，又负载电阻为8Ω ，则额定功率为： |
| **五、实物制作与测试**  本课程设计的PCB印刷电路板使用嘉立创EDA设计，并通过嘉立创免费印刷PCB电路板，按照设计要求，音频放大器系统输入电源接口VCCin,GNDin为12v电源输入。采用引脚间距为2.54mm的DIP2封装；音频信号输入接口IN,IN\_GND为小信号输入接口，采用引脚间距为2.54mm的DIP2封装；音频信号输出接口out,out\_GND为信号输出接口，采用引脚间距为2.54mm的DIP2封装；键S1A-S4A为2.54mm间距的DIP2，正常工作时采用跳线帽。焊接时焊接2脚的插针；LM324,LM386采用DIP封装。焊接时先焊接lc插座:所有电位器均为3296封装，引脚间距为2.54mm；8、所有电阻封装均为0805；  220uF的电容采用插件，引脚间距为3.5mm,电容外径为8mm；所有10uF电容均采用0805封装。PCB电路板焊接后的实物图如下所示：    图5-1 音频放大器系统PCB电路板焊接实物图  音调控制器特性曲线的仿真测量  (1)将音调控制器电位器均调整在中间位置，输入为50mV(有效值)，1KHZ的输入信号，调整功放输入电位器，使功放输出为1~1.2Vpp，固定功放输入电位器不动。  (2)音调控制器低频特性的仿真测量：  将RP2的滑臂置于中间位置。   1. 将RP1的滑臂置于最左端，频率从20Hz至1kHz变化，记下对应电压增益；   表5-1 音调控制器低阻幅频特性   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/Hz** | **20** | **40** | **fL160** | **fLx100** | **fL2400** | **1000** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 0.108 | 0.130 | 0.163 | 0.315 | 0.630 | 1.16 | | **AV** | 0.766 | 0.922 | 1.156 | 2.234 | 4.468 | 8.23 | | **dB** | -2.31 | -0.71 | 1.26 | 6.98 | 13.00 | 18.30 |     图5-2 音调控制器低阻幅频特性曲线   1. 将RP1的滑臂置于最右端，频率从20Hz至1kHz变化，记下对应电压增益；   表5-2 音调控制器低通幅频特性   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/Hz** | **20** | **40** | **fL160** | **fLx100** | **fL2400** | **1000** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 6.72 | 5.60 | 4.48 | 3.20 | 1.52 | 1.16 | | **AV** | 47.66 | 39.72 | 31.77 | 22.70 | 10.78 | 8.23 | | **dB** | 33.56 | 32.00 | 30.04 | 27.12 | 20.65 | 18.30 |     图5-3 音调控制器低通幅频特性曲线  (3)音调控制器高频特性的仿真测量：  将RP1的滑臂置于中间位置。  1.将RP2的滑臂置于最左端，频率从1kHz至50kHz变化，记下对应电压增益；  表5-3 音调控制器高通幅频特性   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/kHz** | **1** | **fH12.5** | **fHX8** | **fH210** | **25** | **50** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 1.20 | 1.58 | 3.64 | 4.48 | 9.80 | **X** | | **AV** | 8.51 | 11.21 | 25.82 | 31.77 | 69.50 | **X** | | **dB** | 18.60 | 21.00 | 28.24 | 30.03 | 36.84 | **X** |     图5-4 音调控制器高频放大幅频特性曲线   1. 将RP2的滑臂置于最右端，频率从1kHz至50kHz变化，记下对应电压增益；   表5-4 音调控制器高阻幅频特性   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/kHz** | **1** | **fH12.5** | **fHX8** | **fH210** | **25** | **50** | | **Vip-p/mV** | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | | **VOp-p/V** | 1.12 | 0.653 | 0.283 | 0.230 | 0.134 | X | | **AV** | 7.94 | 4.63 | 2.01 | 1.63 | 0.95 | X | | **dB** | 18.00 | 13.32 | 6.06 | 4.24 | -0.45 | X |     图5-5 音调控制器高阻幅频特性曲线   1. 音频放大器系统频率响应特性的测量   表5-5 音调控制器频率响应特性   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **f/Hz** | ***20*** | ***40*** | ***60*** | ***100*** | ***400*** | ***f0=1k*** | ***2.5k*** | ***4k*** | ***8k*** | ***10k*** | | **Vip-p/mV** | 140 | 144 | 142 | 142 | 141 | 141 | 141 | 141 | 139 | 136 | | **VOp-p/V** | 0.602 | 1.10 | 1.56 | 2.46 | 4.20 | 3.64 | 3.44 | 3.32 | 3.24 | 3.20 | | **AV** | 4.3 | 7.6 | 11.0 | 17.3 | 29.8 | 25.8 | 24.4 | 23.5 | 23.3 | 23.5 | | **dB** | 12.7 | 17.6 | 20.8 | 24.8 | 29.5 | 28.2 | 27.7 | 27.4 | 27.3 | 27.4 | | **Hz** | ***25k*** | ***30k*** | ***40k*** | ***50k*** | ***100k*** | ***200k*** | ***300k*** | ***400k*** | ***500k*** | ***600k*** | | **Vip-p/mV** | 138 | 141 | 141 | 141 | 138 | 141 | 141 | 141 | 141 | 142 | | **VOp-p/V** | 3.24 | 3.16 | 3.12 | 3.04 | 2.88 | 2.44 | 2.16 | 1.68 | 0.88 | 0.44 | | **AV** | 23.5 | 22.4 | 22.1 | 21.6 | 20.9 | 17.3 | 15.3 | 11.9 | 6.2 | 3.1 | | **dB** | 27.4 | 27.0 | 26.9 | 26.7 | 26.4 | 24.8 | 23.7 | 23.5 | 15.8 | 9.8 |     图5-6 音调控制器频率响应特性曲线  中频电压增益下降3dB(约23.35dB)时对应低音截止频率和高音频截止频率  =100Hz，=300kHz，与仿真结果接近。  **六、误差及故障分析**  **6.1误差分析**  (1)在将 PCB 电路板上电测试后发现，测量数据与仿真存在较大误差，可能的原因有：在电路仿真中，往往会使用理想化的元件模型和假设条件，然而，在实际电路中，元件会有内阻、电感、电容等非理想特性，而且存在功耗和能量损失等因素，这些都可能导致实际测量与仿真结果的差异。在实际电路中，元件参数往往会存在一定误差，例如电阻、电容的额定值与实际值的偏差，这些误差也会对电路性能造成影响。仿真中使用的信号源可能是理想的，但在实际测量中，信号源可能存在波形失真、频率漂移等问题，这些问题也会导致实际测量与仿真结果不同。  (2)在高通滤波器测试过程中当频率升高到8kHz即以上时出现了明显的失真，且当输入频率为50kHz时波形一直变换，幅值以及电压增益无法测出，相关波形如下图所示:   |  |  | | --- | --- | | 图6-1 8kHz输出波形失真 | 图6-2 10kHz输出波形失真 |   由图可以看出，在输入电压稳定50mV有效值时，随着输入频率的提高，输出波形逐渐产生了交越失真和削波失真。交越失真是由输出信号正半周和负半周不能完美对接造成的，当功放工作在乙类时，由于偏置设置不合理会造成信号在接近零点时提前截止，或严重畸变，从而导致交越失真的产生。 削波失真是指输出进入了功放的非线性区，造成输入电平增大（减小）到某一值后，输出电平达到最大（最小），输出电流不再受输入 电流控制，而失去放大能力。对于正弦波信号来说就会看到正半周被削顶或负半周被削底，或同时出现削顶削底。可通过调整找到LM386的合适的静态工作点，适当改善失真情况。  **6.2故障分析**  在PCB元件焊接过程中，出现了几处明显的故障问题：  (1)由于嘉立创画PCB电路板时的LM324芯片封装与实际使用的LM324芯片封装不一致，导致 LM324的VCC和GND位置错误，上电后便会发烫、出现烧焦气味。经老师和同学提醒后发现，LM324有着左右两边相对称的特点，可以通过将芯片旋转180°后插入 IC 插座以解决这个问题。  (2)在焊接 500kΩ 电位器时，由于自己的疏忽大意，将500kΩ 电位器焊接成了10kΩ 电位器，导致可调范围减小，无法满足音响放大器的实验要求。在同学的帮助下，成功将10kΩ 电位器拔出，并使用吸锡器将多余的锡吸出，最后成功将 500kΩ 电位器焊接到位，解决了这个硬件问题。但由于部分锡难以吸出，导致电位器无法插到最底端，在调节时会产生些许晃动，有较大的改进空间。  **七、设计总结**  本次课程设计《小型复杂多级模拟电子系统的设计与调试》已经结束。作为电子工  艺实习的延伸，我们体验了从绘制 PCB电路板到打板再到焊接元器件，最后进行调试和 测量的过程。通过这次实验，我学到了很多。首先，我认识到了贴片元件，并学会了如何焊接它们。具体来说，先在一边上锡，然后用镊子将贴片移动到合适的位置，再在另一边上锡。此外，我也了解了芯片和元件的封装类型，并熟悉了不同封装实物图之间的差异。我还学会了使用万用表进行电子元件的调试，以减少虚焊等问题的发生。自己绘制并焊接的电路板上测量数据后，我更深刻地认识到了在仿真和实际操作 中存在的误差。不能仅仅依赖于仿真波形来判断实际波形的结果。在实际操作中，需要考虑更多的因素。与此同时，这次实验也提醒了我存在的不足，比如观察不够仔细，没有发现LM324的VCC和GND接错的问题，这让我更加留心细节。  总的来说，这次实验激发了我对硬件电路的浓厚兴趣，同时也提升了我绘制PCB电路板和焊接的能力，进一步培养了我的耐心和细致程度，更感谢老师们的指导，让我能够及时发现问题并改正，使我收获颇多！  **八、参考文献**  [1]电子设计1音响放大电路参考资料PPT  [2]LM324芯片数据手册  [3]LM386芯片数据手册 |