



电子线路设计、测试与实验

Dec, 2024

音乐彩灯控制电路

杨明
华中科技大学电信学院
myang@hust.edu.cn



► 教材实验三十、音乐彩灯控制电路

- 一、设计任务与要求
- 二、设计原理与参考电路
- 三、实验步骤与报告要求
- 四、验收要求

► 设计任务与要求

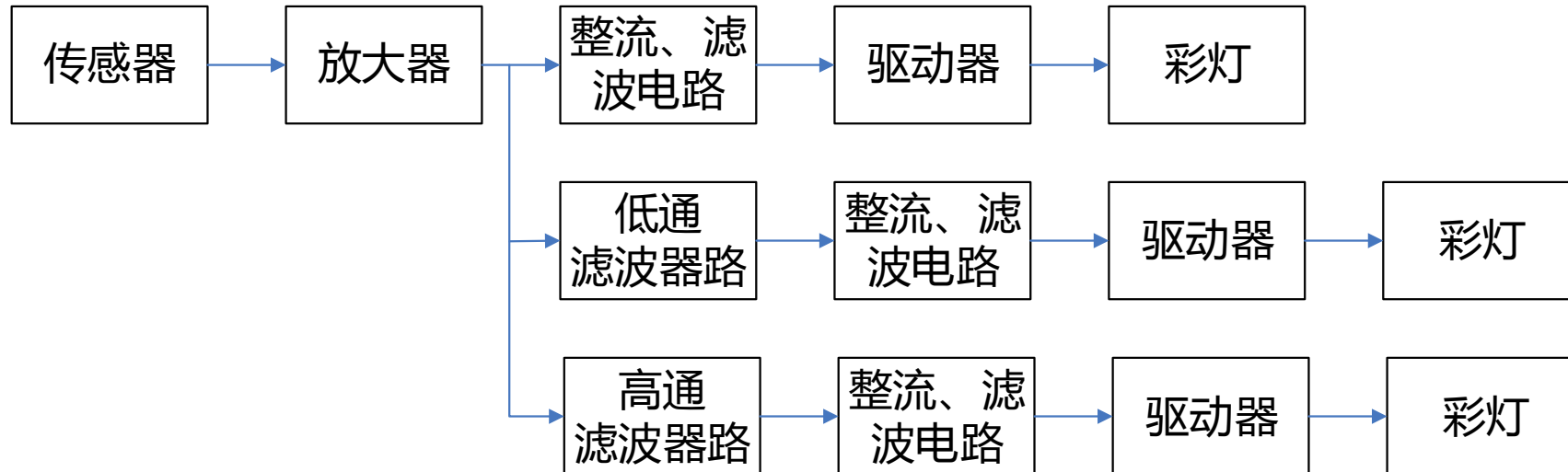
- 选取一种方法设计音乐彩灯控制器，要求该音乐彩灯控制器电路由二路不同控制方法的彩灯所组成，采用不同颜色的发光二极管组成不同的图案来实现。
 - (1) 第一路按音量的强弱（信号幅度大小）控制彩灯。
 - 强音时，灯的亮度加大，且灯被点亮的数目增多。
 - (2) 第二路按音调高低（信号频率高低）控制彩灯。
 - 低音（输入信号频率 $<2\text{KHz}$ ）时，某一部分彩灯点亮；
 - 高音（输入信号频率 $>2\text{KHz}\&<6\text{KHz}$ ）时，另一部分彩灯电亮。

► 需具备知识

- 1、差分放大电路
- 2、整流电路
- 3、有源滤波电路

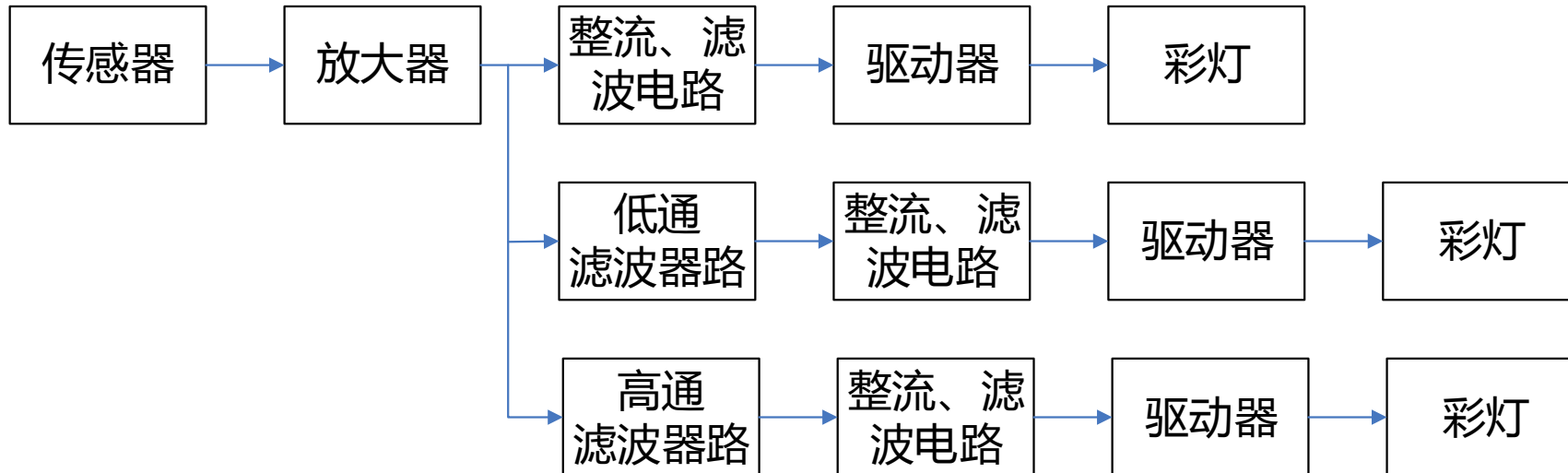
► 总体方案设计

- 根据任务要求，可将控制器分为二部分来实现
 - 1) 将声音信号变成电信号，经过放大、整流滤波，来点亮彩灯，以实现声音信号强弱的控制。
 - 2) 采用高、低通有源滤波电路来实现高、低音对彩灯的控制。



► 电路包括5个部分

- 1) 语音输入 (传感器)
- 2) 发光二极管显示 (驱动+彩灯)
- 3) 放大电路
- 4) 滤波器电路
- 5) 整流电路



► 语音输入电路设计

- 语音输入是指能将声音信号转换为音频电信号的拾音设备，即传声器，也就是常说的话筒（也称麦克风Microphone）。
- 话筒的种类很多，按工作原理可以分为电动式话筒和电容式话筒。电容式话筒是目前常用的拾音设备。
- 电容式话筒由电容器、部分给电容器提供极化电荷的直流极化电源及负载电阻组成，声波振动使电容器一端移动，造成电容两极间距离变化导致电容变化，从而负载电阻两端将有相应变化的电压输出，即形成声音的电信号。
- 电容式话筒灵敏度高、频率特性好、失真小、音质好，且体小质轻。

► 语音输入电路设计

- 一般驻极体电容话筒（简称ECM）的主要技术参数有：灵敏度典型值为 $-66\sim-56\text{dB}$ 或 $5\sim 15\text{mV/Pa}$ ；频率响应典型值为 $50\text{Hz}\sim 12\text{kHz}$ ；输出阻抗典型值不大于 $2\text{k}\Omega$ ；工作电压DC为 $1.5\sim 12\text{V}$ 。
- 话筒的输出信号一般只有 5mV 左右，话筒的输出阻抗有高阻（约 $20\text{k}\Omega$ ）、亦有低输出阻抗的话筒，如 20Ω ， 600Ω 等。话音放大器的作用是不失真地放大声音信号，其输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗。
- 本实验中采用输出阻抗为 600Ω 的电容话筒。



► 语音输入与发光二极管显示

- 发光二极管和普通二极管一样都具有单向导电性，正向导通时才能发光，光的亮度随导通电流增大而增强。需注意发光二极管的导通电流不能太大（小于20mA），否则会损坏。

- 发光二极管正向导通电压表

| 颜色 | 红 | 黄 | 绿 |
|-----------------|---------|---------|---------|
| V_F (10mA) /V | 1.6~1.8 | 2.0~2.2 | 2.2~2.4 |

- 使用时应在LED电路中串接限流电阻R，其阻值由下式计算：

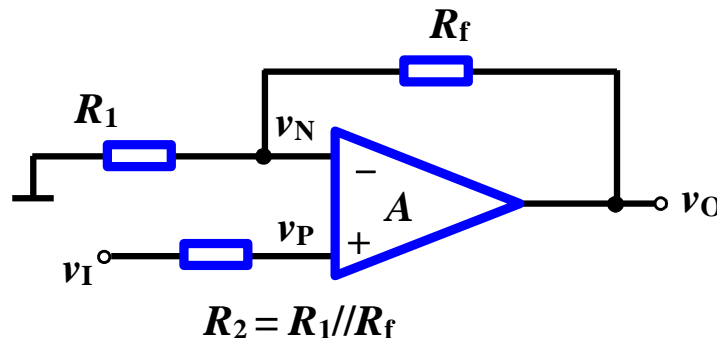
$$R = \frac{V_O - V_F}{I_F}$$

- 式中， V_O 为本系统中整流、滤波电路输出电压， I_F 为发光二极管导通电流，一般为2mA~10mA。

► 放大电路设计

• 采用同相比例放大电路

- 由于话筒的输出信号一般只有**5mV**左右，为了使放大器能够不失真地放大话筒输出信号，其**输入阻抗应远大于话筒的输出阻抗**（一般在10倍左右）。而由于在典型情况下，共模噪声可能高达几伏，故放大器输入漂移和噪声等因素对于总的精度至关重要，放大器本身的共模抑制特性也是同等重要的问题。因此放大电路应该是一个高输入阻抗、高共模抑制比、低漂移的小信号放大电路。
- **同相放大电路具有输入阻抗非常高，输出阻抗很低的特点**，广泛应用于**前置放大电路**。
- 输出电压 $V_O = (1 + R_f/R_1) V_i$



► 放大电路设计

• 参考电路

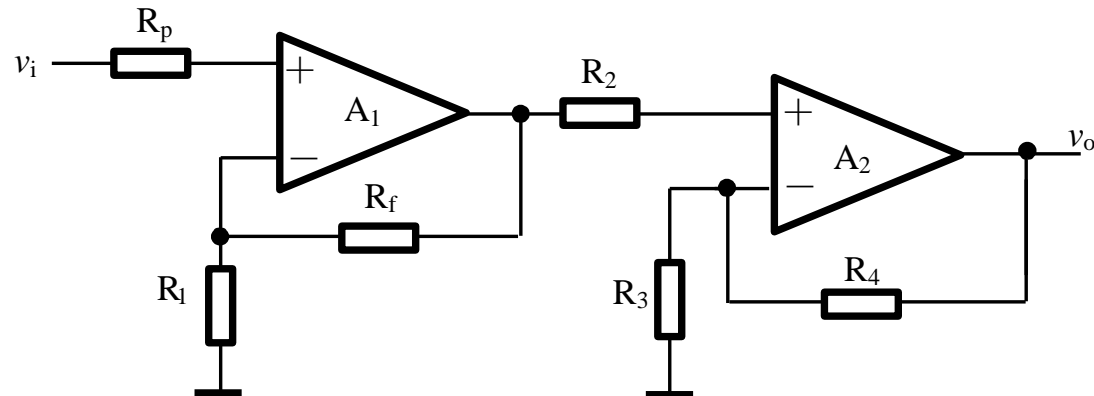
- 电路是将A1、A2两级同相放大电路串联，其总的电压增益为两级电压增益的乘积。由于话筒输出信号较小，本级电路的电压增益需达到100倍左右。Rp与R2是平衡电阻，用于消除运放输入偏置电流的影响，要求 $R_p = R_1 // R_f$ ， $R_2 = R_3 // R_4$ 。

▪ 输出电压

▪ 输入电阻

，式中， r_{ic} 为运放本身同相输入端对地的共模输入电阻，一般为 $1M\Omega$ 。

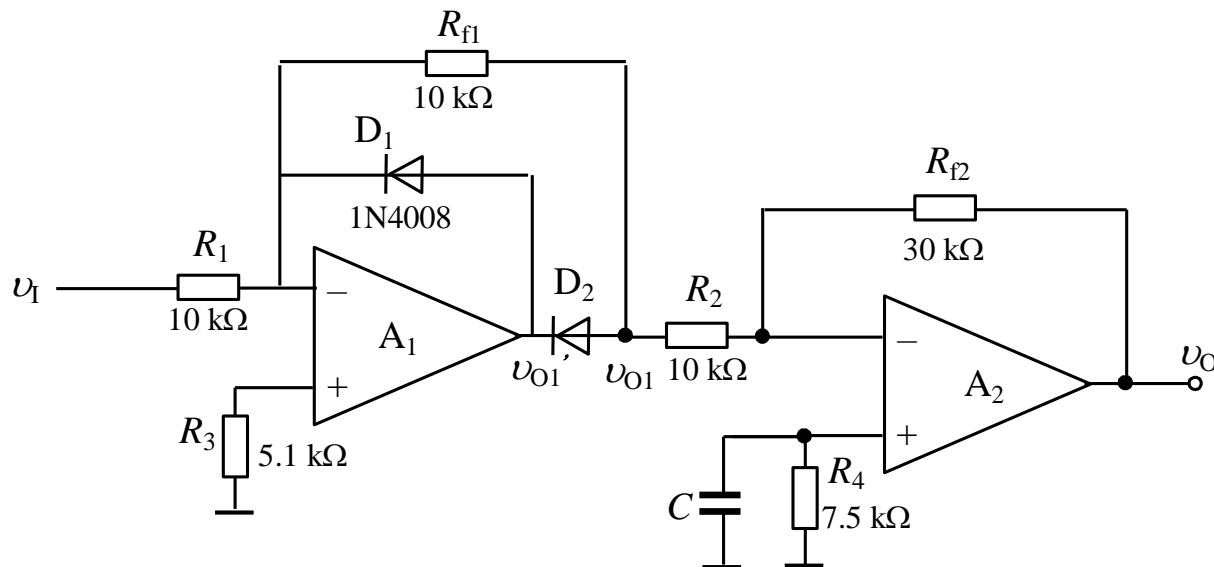
$$v_o = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_i$$
$$R_i = r_{ic}$$



► 整流、滤波电路设计

• 参考电路

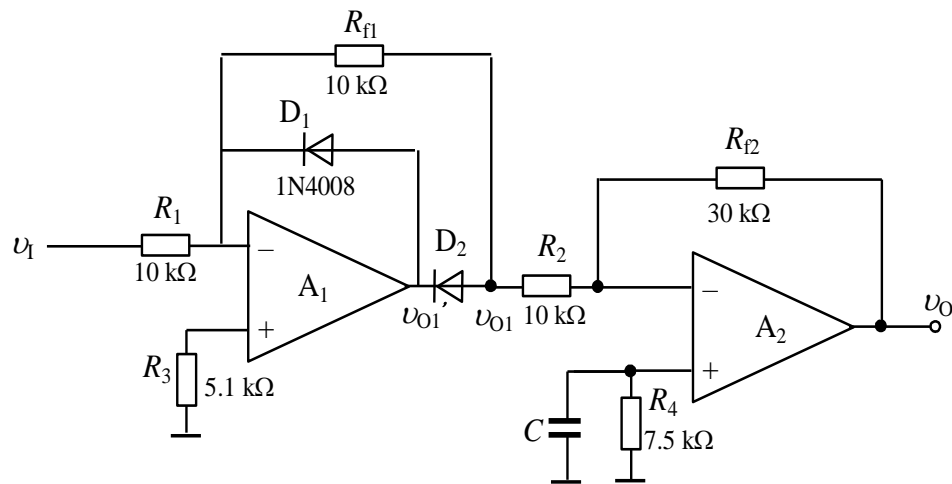
- 电路整流、滤波电路的作用就是将前级放大器电路输出的交流信号经整流滤波后，把交流电压变成平均值电压（直流），其直流电平随音乐信号大小而上下浮动，进而控制灯的亮度。
- 如图所示电路是反相输入的半波整流平均值电路。A1可组成半波整流电路，A2构成反相比例放大电路，C为滤波电容，以减小输出波形的脉动。



► 整流、滤波电路设计

• 参考电路

- 电路整流、滤波电路的作用就是将前级放大器电路输出的交流信号经整流滤波后，把交流电压变成平均值电压（直流），其直流电平随音乐信号大小而上下浮动，进而控制灯的亮度。
- 图7.30.4所示电路是反相输入的半波整流平均值电路。A1可组成半波整流电路，A2构成反相比例放大电路，C为滤波电容，以减小输出波形的脉动。



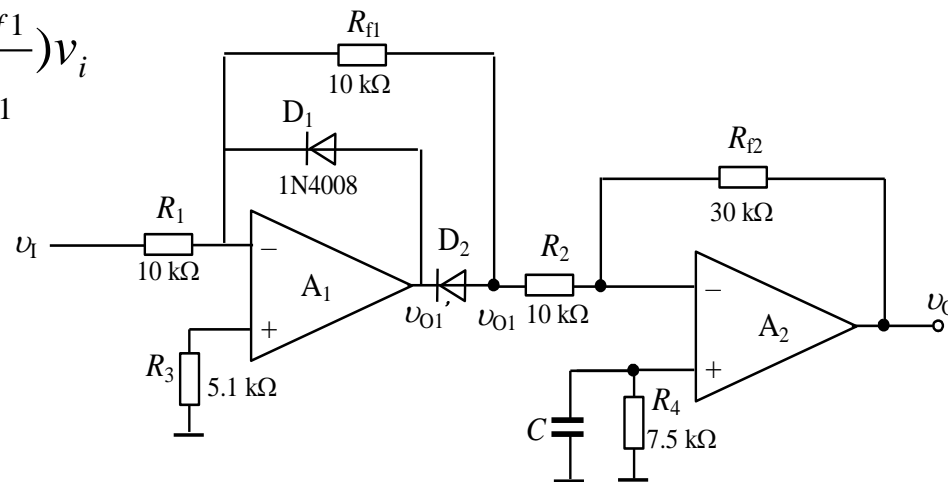
► 整流、滤波电路设计

- 参考电路：反向输入的**半波整流平均值电路**。A1可组成半波整流电路，A2构成反相比例放大电路，C为滤波电容，以减小输出波形的脉动。

- 当 $V_I > 0$ （即正半周）时，D1截止，D2导通，此时

- 当选择 $R_1 = R_{f1}$ 时，
$$v_{o1} = -\frac{R_{f2}}{R_2} \cdot v_{o1} = -\frac{R_{f2}}{R_2} \cdot \left(-\frac{R_{f1}}{R_1}\right) v_i$$

- 当 $V_I < 0$ （即负半周）时，D1导通，D2截止，此时

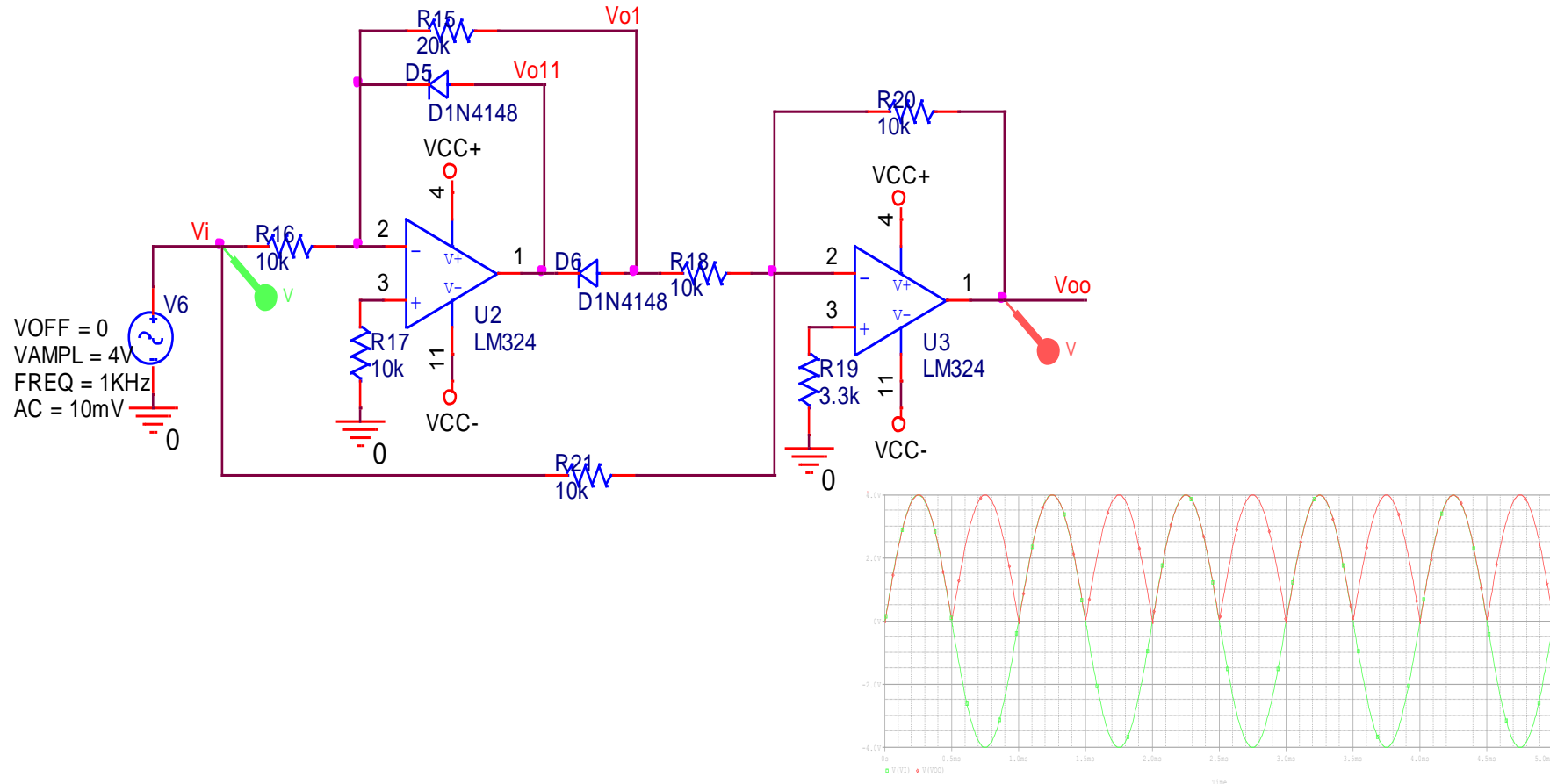


- 另外：C和R4组成滤波电路，以减小整流后的纹波电压。可选C为 $10 \mu\text{F}$ ，最后在调试中确定。

► 整流、滤波电路设计

• 参考电路：精密全波整流电路见P74图4.4.4

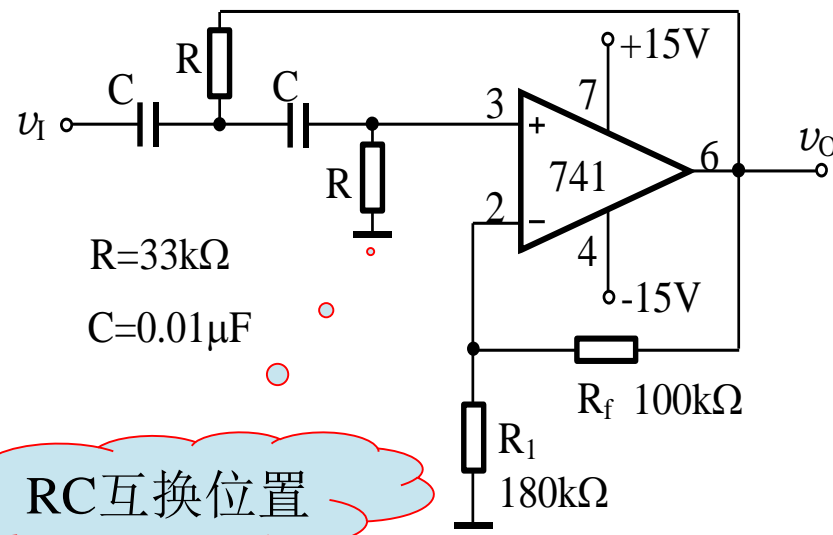
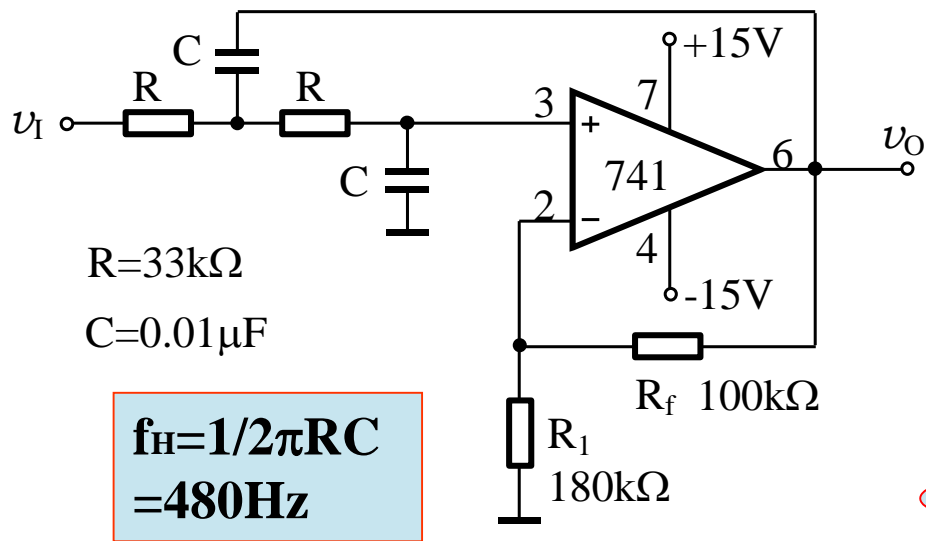
- $V_i > 0$ (green), $V_o = V_i$ (red); $V_i < 0$ (green), $V_o = -V_i$ (red)



► 高通、低通滤波器设计

• 参考电路

- 人耳听觉范围的信号频率在20Hz~20kHz之间。为简便起见，可将音频信号分为两个不同的频段，分别用低、高通滤波器来区分这两段频率信号，然后经驱动电路使彩灯工作。低、高通滤波器电路可采用二阶有源滤波电路，根据截止频率，选取适当参数即可。



► 高通、低通滤波器设计

• 参考电路

例子 $f_H=500\text{Hz}$, 如果要求 $f_H=2\text{KHz}$, R 、 C 该如何取值??



- 设低通滤波器的上限截止频率 f_H 为 500Hz , 采用如图所示电路形式的巴特沃斯低通滤波器电路。

- 首先选择电容 $C=0.01\mu\text{F}$, 由于 $f_H = \frac{1}{2\pi RC}$,

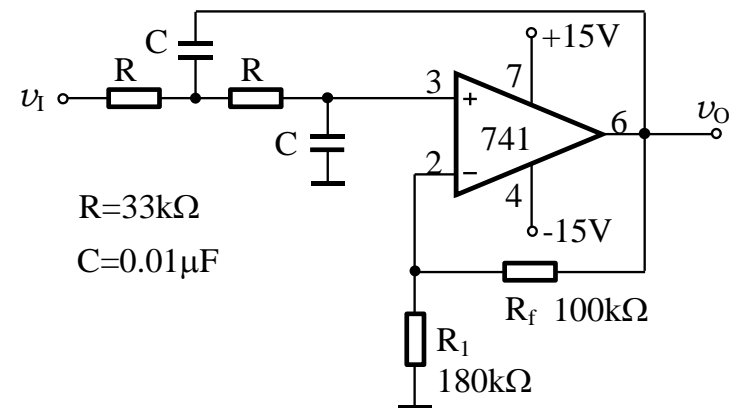
$$R = \frac{1}{2\pi f_H C} = \frac{1}{2\pi \times 500 \times 0.01 \times 10^{-6}} \Omega = 31.85\text{k}\Omega$$

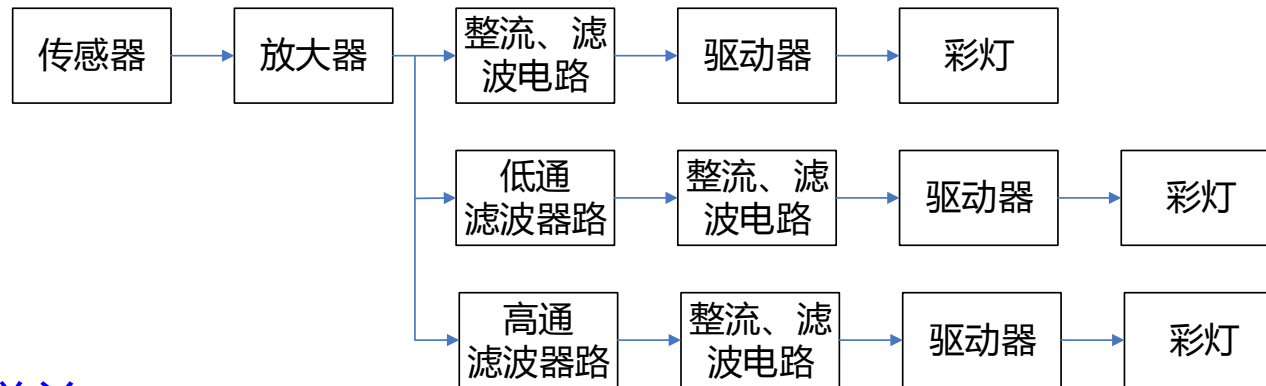
- 取标称值 $30\text{k}\Omega$ 串 $1.8\text{k}\Omega$ 。
- 考虑到二阶巴特沃斯滤波器的 $Q=0.707$ 和

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 3 - \frac{1}{Q} = 1.586$$

则 $R_f = 0.586R_1$

- 再由 $R_f // R_1 = R + R = 63.7\text{k}$, 可求得 $R_1 = 172.4\text{k}$ 和 $R_f = 101.02\text{k}$ 。 R_1 取标称值 160k 串 13k , R_f 取标称值 $100\text{k}\Omega$ 串 $1\text{k}\Omega$ 。





► 分配各级电路的电压增益

- 电路总的电压增益为各级电路电压增益之积，据此来分配各级电压增益，同时还需考虑各级基本放大电路所能达到的增益。
 - 为了提高信噪比 S/N ，放大器电路的增益可以适当取大。
 - 整流、滤波电路的电压增益分配还应同时考虑到为避免输出波形产生饱和失真，输出信号的幅值应小于电源电压。

► 根据已分配确定的电压增益和设计已知条件，分别确定各级电路的电路方案，选取各元件参数。

► 合理布局

► 注意运放，二极管等主要器件的引脚和极性

► 逐级安装，安装一级调试一级，安装两级要进行级联调试，直到整机安装与调试完成。

本次实验（12-14周）内容

► 教材实验三十、音乐彩灯控制电路

- 选取一种方法设计音乐彩灯控制器，要求该音乐彩灯控制器电路由二路不同控制方法的彩灯所组成，采用不同颜色的发光二极管组成不同的图案来实现。
 - （1）第一路按音量的强弱（信号幅度大小）控制彩灯。
 - 强音时，灯的亮度加大，且灯被点亮的数目增多。
 - （2）第二路按音调高低（信号频率高低）控制彩灯。
 - 低音（输入信号频率 $<2\text{KHz}$ ）时，某一部分彩灯点亮；
 - 高音（输入信号频率 $>2\text{KHz}\&<6\text{KHz}$ ）时，另一部分彩灯电亮。



► 实验步骤

- 1、分配各级电路的电压增益。
- 2、确定电路方案
- 3、在实验电路板上组装电路

► 实验报告要求

- 1、原理电路的设计
- 2、整理各项实验数据
- 3、观察发光二极管闪烁结果是否满足设计要求
- 4、说明在整个调试过程中所遇到的问题以及解决的方法
- 5、简述收获体会

- ▶ 按音量对彩灯亮度的控制（三级以上）；（第14周）
 - *（选）要求能播放音乐（话筒输出到扬声器），输出功率0.3w；
- ▶ 按频率对彩灯的控制；（第14-15周）
 - 高频段2kHz~6kHz，亮绿灯；
 - 低频段<2kHz，亮红灯；
- ▶ *（选）其他扩展功能（可加分）

下次（15周）实验内容

► 音响放大器设计



Thanks

