

电路与模拟电路电子技术大作业 声光控制灯源

薛宇航 3220104395^{*},
陈凯涵 3220102812^{*},
崔婷川 3220105573^{**},
严碧衡 3220100589^{**},
陈景灏 3220100569^{**},
王凯 3220102821^{**},
戴诗恬 3220102839^{***} and
郑乔译 3220105111^{****}

^{*}College of Control Science and Engineering, Automation

^{**}College of Optical Science and Engineering, Optoelectronic Information Science and Engineering

^{***}College of Electrical Engineering, Automation

^{****}College of Control Science and Engineering, Robotics Engineering

January 4, 2024

1 摘要

文章围绕集成运放、负反馈电路、逻辑与门电路等基本原理，通过实际仿真展示了放大整流电路和逻辑电路的实现，最终设计可通过声音和光强控制的电路点亮灯泡。整体控制电路包括声控、光控、逻辑门电路和灯光控制四部分，发现电路与模电之美，感受电路与模电之趣，学习电路与模电之用。

2 设计思路与实现过程

2.1 选题背景

本次模电研讨任务选题源自生活中常见的楼道声光控制光源系统。该系统能够在夜晚且声音刺激同时作用下实现自动开启灯源开关的功能。因此，我们可以简单地把该控制电路分为“声控部分”、“光控部分”、“逻辑门电路”以及“灯光控制”四部分。通过相应的设计，利用放大电路以及相关元件的搭配，结合整流电路，实现一种简单的声光控制的光源电路。

2.2 工程原理

2.2.1 集成运放

集成运放是一种差分放大器，通常用于放大电压信号。运放具有高增益、高输入阻抗、低输出阻抗等特性，使其在各种电子电路中得到广泛应用。

运放通常有两个输入端（非反相输入端和反相输入端）和一个输出端。其基本特点包括：

1. 运放的主要特性之一是具有非常高的电压增益。这使得运放能够在输出端提供相对较大的电压变化，对于输入信号的微小变化能够得到放大。
2. 运放有两个输入端，一个是非反相输入端 (+)，另一个是反相输入端 (-)。它通过测量这两个输入端之间的电压差来进行放大。
3. 运放的输入端具有很高的输入阻抗，这意味着它几乎不会对输入信号产生额外的负担，从而不影响输入信号的原始特性。
4. 运放的输出端具有较低的输出阻抗，使得它能够较容易地驱动外部负载，而不会导致信号失真。
5. 由于运放的特性，它广泛用于各种电路中，如比较器、滤波器、积分器、微分器等，以实现不同的运算功能。

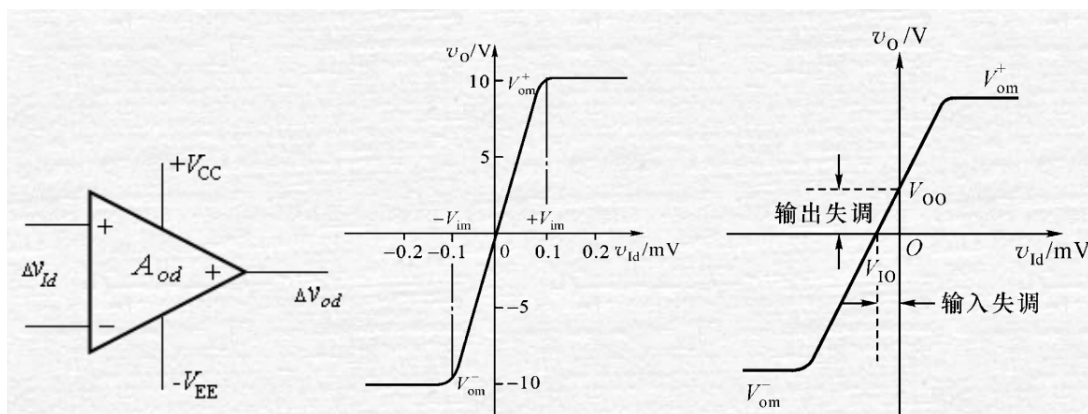


Figure 1: 集成运放特征曲线

2.2.2 负反馈电路

反馈网络功能：

1. 反馈网络首先应完成从放大器输出取样电量的功能，检测出输出电压的一部分或是输出电流的一部分；
2. 将取样电压或电流送回到放大器的输入回路，与输入信号进行比较求和，这是反馈网络的第二个功能。

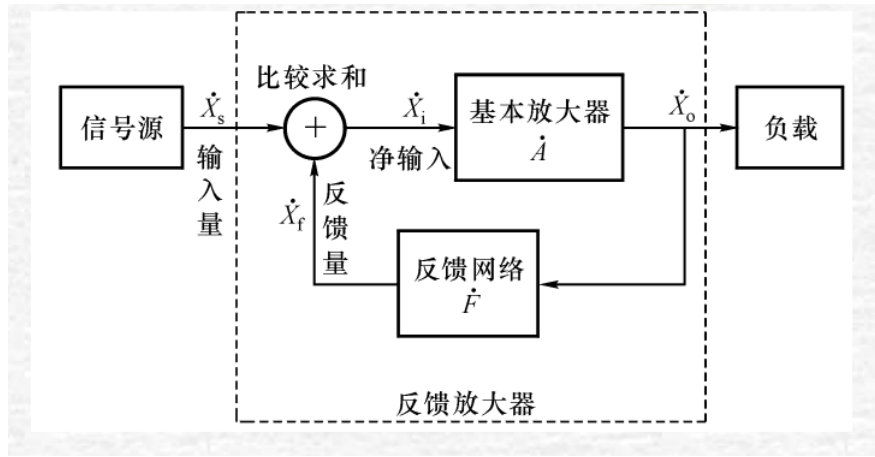


Figure 2: 反馈网络示意图

2.2.3 用集成运放构建的整流电路

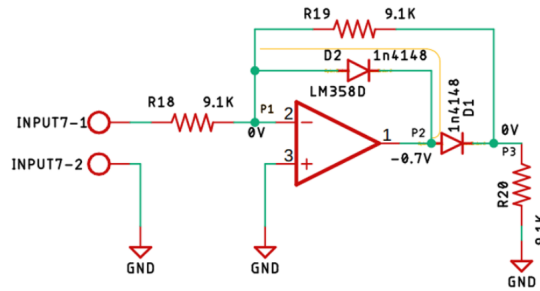


Figure 3: 精密整流电路简图

现在在上面的电路中，可以发现如果正弦信号的正半部分用作输入，二极管 $D2$ 将导通。现在上面的路径（黄线）已经完成，运算放大器作为一个反相放大器，对于 $P1$ ，电压为 $0V$ 。因为在该处形成了虚拟地，所以电流不能流过电阻 $R19$ ，在输出点 $P2$ ，由于运算放大器正在补偿二极管压降，电压为负 $0.7V$ ，因此电流无法流向 $P3$ 点。假设已将正弦交流信号的负半部分应用到运算放大器的输入端，这意味着施加的输入信号小于 $0V$ 。

此时，二极管 $D2$ 处于反向偏置状态，意味其开路。由于二极管 $D2$ 处于反向偏置状态，电流将流过电阻器 $R22$ ，在点 $P1$ 处形成虚拟接地。现在，当施加输入信号的负半部分时，我们将在输出中得到一个正信号，作为其反相放大器。二极管将导通，我们将在 $P3$ 点获得补偿输出。

故输出电压变为 $V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{in}$

2.2.4 整流电路的改进

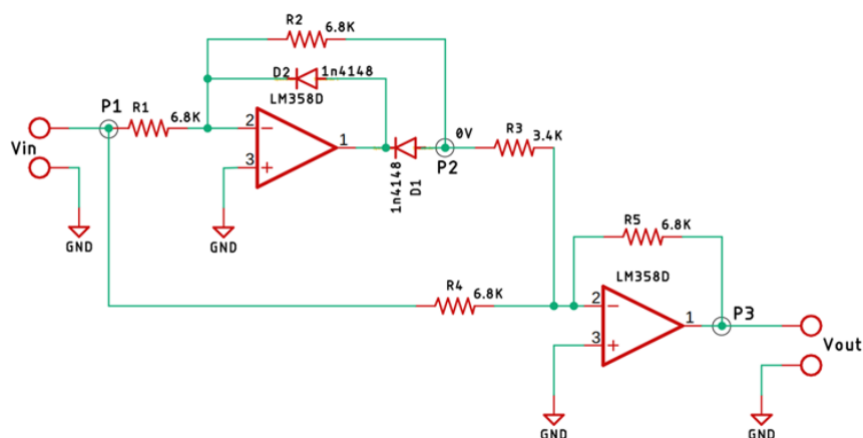


Figure 4: 整流电路的改进

经过小组同学讨论，认为上述的整流电路还存在一定的缺点，因此做出来了如下改进：
即在半波整流电路的输出端添加了一个求和放大器。

P1 到 P2 点是基本的精密整流电路，二极管的配置使我们在输出端获得负电压。

从 P2 到 P3 为求和放大器，精密整流器的输出通过电阻 R3 馈送到求和放大器。电阻器 R3 的值是 R5 的一半，这就是我们设置运算放大器 2 倍增益的方式。

在电阻 R4 的帮助下，来自点 P1 的输入也被馈送到求和放大器，电阻 R4 和 R5 则将运算放大器的增益设置为 1X。

由于 P2 点的输出直接馈送到增益为 2X 的加法放大器，这意味着输出电压将是输入电压的 2 倍。假设输入电压为 2V 峰值，因此将在输出端获得 4V 峰值。同时直接将输入馈送到增益为 1X 的求和放大器。

因此对于现电路，当求和操作发生时，我们在输出端得到一个总和电压，并作为输出端的运算放大器。由于运算放大器配置为反相放大器，我们将在输出端获得 +2V，即 P3 点。当施加输入信号的负峰值时，也会发生同样的情况。

2.2.5 “与” 门电路

逻辑与门是数字电路中的基本逻辑门之一。它执行逻辑与操作，即只有在所有输入都为高电平时，输出才为高电平。逻辑与门通常表示为一个乘法操作，其中两个或多个输入被连接在一起，并且输出是它们的乘积。

逻辑与门的真值表如下：

其中，A、B 是输入信号（或称作逻辑变量）；Q 是输出信号。

| A | B | Q |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

从真值表可以看出，只有当输入 A 和 B 同时为高电平（1）时，输出 Q 才为高电平；在其他情况下，输出 Q 始终为低电平（0）。

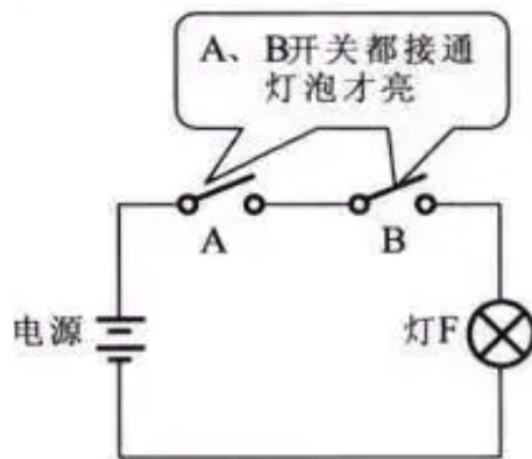


Figure 5: “与”门电路功能示意图

3 控制电路

3.1 实际仿真

3.1.1 放大整流电路仿真

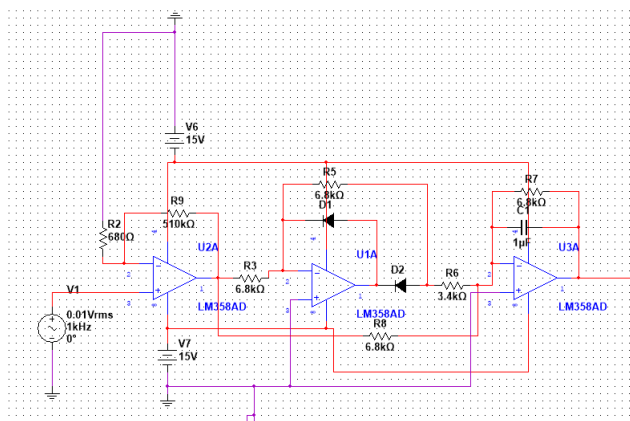


Figure 6: 放大整流电路

U2A 输出波形

该运算放大器（同相比例放大）将 V1 的信号（0.01V）放大为 5.91V

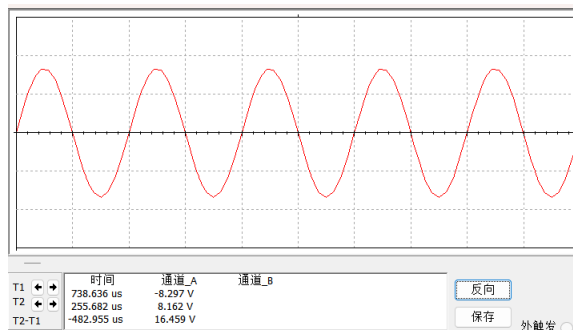


Figure 7: U2A 输出波形图

U1A 输出波形

该运算放大器（精密半波整流）将 U2A 输出的正弦交流信号半波整流为单方向的脉动的信号

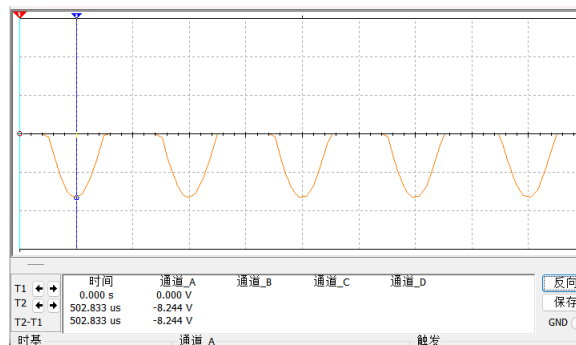


Figure 8: U1A 输出波形图

U3A 输出波形（无滤波电容）

该运算放大器（比例放大 + 求和放大）将 U1A 输出的单方向半波脉动信号比例放大，并且将该信号与 U2A 进行加法运算，最后得到全波整流波形。

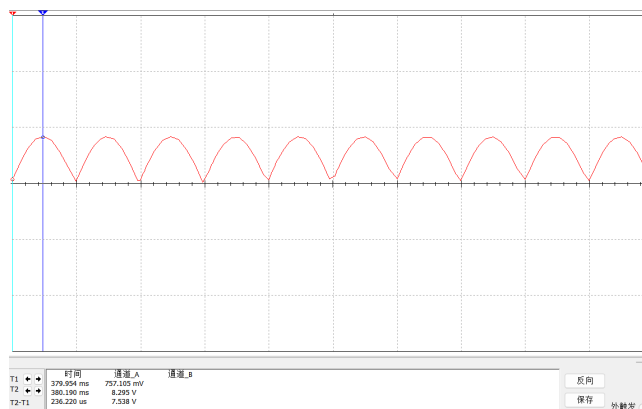


Figure 9: U3A 输出波形图（无滤波）

U3A 输出波形（有滤波电容）

加入滤波电容之后，U3A 输出为稳定的直流电压

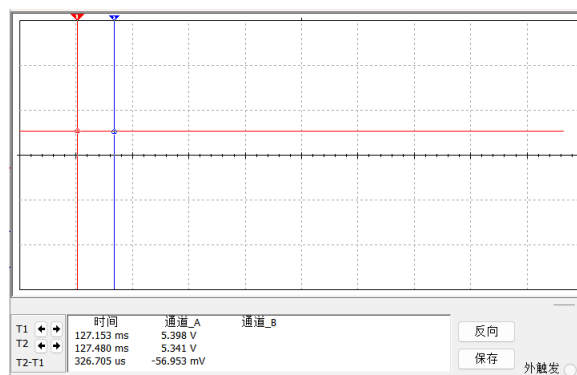


Figure 10: U3A 输出波形图（有滤波）

所有输出波形
(红色 U2A, 蓝色 U1A, 黑色 U3A)

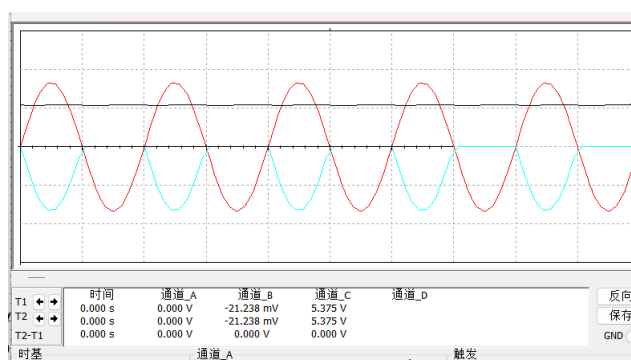


Figure 11: 所有波形图

3.1.2 逻辑电路仿真

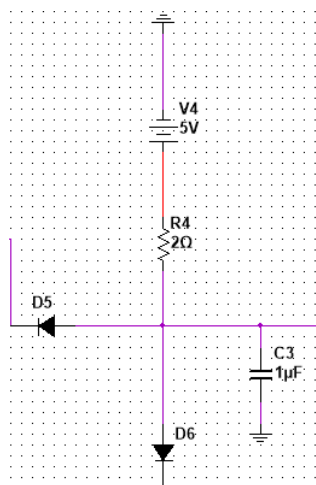


Figure 12: 逻辑电路

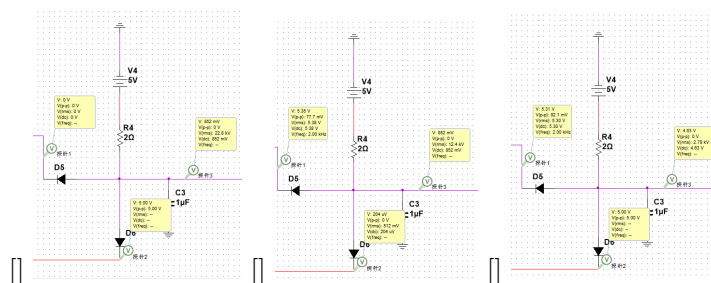


Figure 13: 逻辑门的仿真测试（与门）

3.1.3 光强控制电路仿真

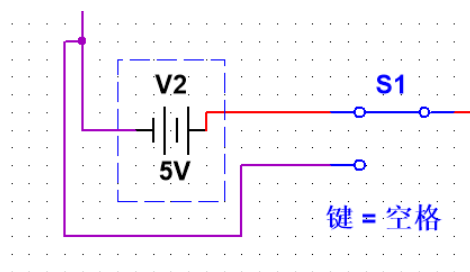


Figure 14: 光强控制电路

利用电磁铁与光敏电阻控制，光照强时输出低电位，光照弱时输出高电位，仿真略。

3.2 仿真结果

该运算放大电路可以被声音以及光强控制，当光强弱，并且有声音时，电路会输出 4.63V 来点亮灯泡（额定电压 5V），以达到照明的效果。

在灯亮时，运算整流电路最终输出约为 5.3V 的稳定直流电压，光强控制电路输出 5V 的稳定直流电压。通过与门，输出 4.63V 的电压施加在负载上，点亮灯泡。

4 小组分工和感想

4.1 薛宇航

分工：思路研讨、报告撰写

感想：通过本次研讨活动，我们从选题开始搜索相关内容、构建电路逻辑等等，从中利用学到的知识。通过实践放大电路、逻辑电路等的设计与分析，我们也对其中的分析和运用原理有了更加深刻的了解。并且在解决问题的时候我们也查阅了相关的资料，加入了交直流的相互转变，实践了一种新的整流电路，我的模电的知识拓展也有一定的帮助。同时，和大家一起分析问题、解决问题的过程中，我们也增进了彼此的交流和友谊，认识了新的朋友。

4.2 陈凯涵

分工：思路研讨、电路构建、电路仿真

感想：在构建电路过程中，我深刻体验到电子元件的精妙配合与设计的挑战。通过对集成运放、负反馈电路、整流电路等原理的深入理解，成功实现声光控制系统。仿真结果验证了电路的稳定性和可靠性，使我对模拟电子电路设计有了更深层次的认识，也增强了解决实际问题的信心。这一经验不仅提高了技能，更激发了对电子领域的浓厚兴趣。

4.3 崔婷川

分工：思路研讨、PPT 制作

感想：通过这次研讨，我更加深刻地理解了同相和反相输入电路，也加深了对模电的理解，学习模电不只是一要学会做题，还要学会把知识应用到生活中的具体应用中，也希望未来可以在自己所学领域发挥模电的知识作用，感谢盾妈一学期的辛勤付出，很喜欢盾妈的课，感恩！

4.4 严碧衡

分工：思路研讨、电路构建

感想：最初讨论各种撞墙，还好我们能够讨论出一个不错的设计想法，能够结合到一部分已经学到的模电知识。在这次小组研讨中我主要合作了电路的搭建和仿真，参与合作了设计思路与调参的过程，也在其中看到了一步一步实现一个功能完善的电路的过程。各种所学知识的运用也帮助我更加了解相关的知识，为理论的学习提供了更大的信心

4.5 陈景灏

分工：思路研讨、报告撰写（仿真）

感想：在本次研讨中，我们借助相关资料设计并且完善了一个有一定实用性的电路，并且完成了该电路的仿真，“纸上得来终觉浅，深知此事要躬行”，这样的实践对理论的理解学习无疑是一大助力。并且在与同学的交流讨论中，我从他人的角度再次理解运算放大器的各种原理，有些问题又茅塞顿开了。

4.6 王凯

分工：思路研讨、电路构建与仿真

感想：从最初的想法到一步一步的搭建，我们在这次研讨中充分运用了模电课堂学到的东西。大家在一起搭建电路、为了电路功能的实现查找资料，相互讨论，也在其中逐渐领会着电路与模电带来的多姿多彩的功能电路，体会着他们的重要作用与价值

4.7 戴诗恬

分工：思路研讨、PPT 制作

感想：在本次研讨活动中，我对于理论知识与实际应用之间的异同有了更深刻的认识，我们尝试从不同的角度思考和探讨问题，联合实际切实解决具有一定现实意义的问题。通过小组成员间的交流与合作，我收获了很多来自优秀同学的观点与思维，也加深了自己对于运算放大器的理解与认识。

4.8 郑乔译

分工：思路研讨、报告撰写（原理）

感想：在本次相关大作业过程中，经过了对于多种选题思路的比较，最终选择以对于声信号放大整流电路为主要设计部分，结合“与”门逻辑电路与光强控制电路，设计出一种基本的声光控制的光源电路。在撰写原理部分的报告过程中，我重温了模电学习的过程，将所学付诸实践。同时，与小组其他同学们之间的合作让我们的友谊更进一步，体会到了合作的愉悦。

References

- [1] Debashis Das, [如何使用运算放大器构建精密整流电路](#), 2022-08-15.
- [2] SugarlesS, [门电路：与门、或门、非门电路及实例](#) 2021-08-02.