

等离子体扬声器前期报告

2026 年春季学期, 设计与制作等离子体扬声器

1. 实验内容

等离子体扬声器以气体放电作为换能器, 将电信号直接转换为声压波[1]. 与传统扬声器不同, 它没有机械振膜, 声音主要来自放电通道附近空气的快速加热与膨胀.

常见的等离子体扬声器形式包括射频电晕放电, 直流电晕放电和直流辉光放电[2].

2. 模型

等离子体扬声器中的声场可以看作中性理想气体中的普通压力波, 其驱动来自放电引入的源项. Bastien 的表述强调了两类一般性的声源结构: 热源项和力源项[3]. 对于直流辉光等离子体扬声器, 起主导作用的通常是热效应: 电流调制改变放电柱温度, 温度调制再通过理想气体状态关系转化为压强调制.

3. 电路设计

KiCAD 的 Tools > Plugin and Content Manager 可以下载到 Fabrication Toolkit. 支持导出嘉立创 BOM.

按照功能, 电路可以分成两部分, 音频放大以及 ZVS 驱动.

3.1. 音频放大

参考[反相放大器电路 \(Rev. B\)](#), 但根据本实验需要做了单电源化和声道合成处理.

J1 的左右声道先经电容耦合进入 TL072 的其中一路通道, 另一个通道被禁用. 两个 22 k Ω 电阻用于声道求和和输入阻抗设定. 围绕运放的 22 k Ω 电阻和 22 k Ω 可调电阻用于设置 AMP_OUT 的放大幅度. 这一部分的目的是合成与放大音频.

3.2. ZVS 驱动

我参考了 [How to Build a Simple But Powerful Flyback Driver](#) 所示的 Mazzilli ZVS 思路, 由两只 IRFP4668PbF MOSFET 组成对称自激结构. 输入电感 L1 向高压包一次侧中心抽头供能, 两个功率管交替导通, 在一次侧和谐振电容 C4 之间形成高频谐振回路. C4 与 C6 取值为 0.33 μ F, 用于维持 ZVS 所需的谐振条件.

AMP_OUT 并不直接参与高频自激, 而是作为低频调制信号去改变放电功率.

3.3. 原理图

板承载低压控制与一次侧驱动部分, 高压包通过外部连线接入.

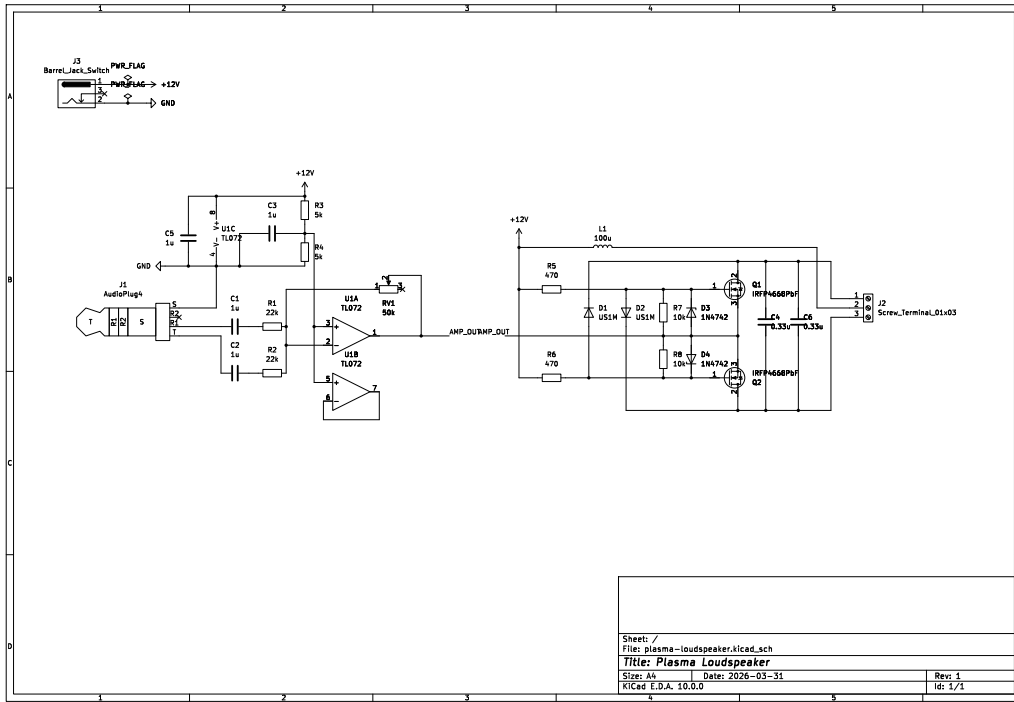


图 1 原理图

3.4. PCB

PCB 采用双层板, 在音频放大部分采用双面覆铜作为 GND. 最大线宽为 0.5 mm, 最小线宽为 0.15 mm.

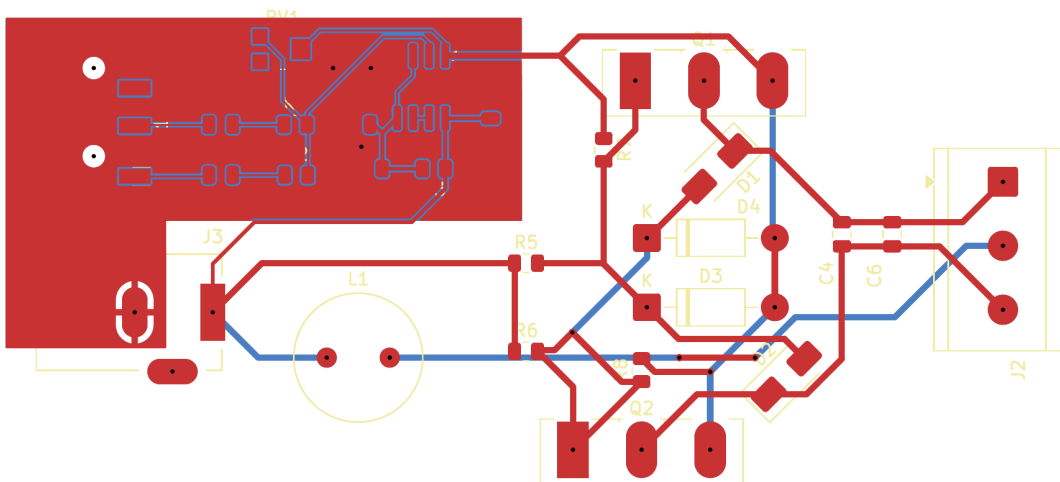


图 2 PCB

3.5. 物料小计

商品名称	商品编号	品牌	商品类型	封装格式	型号发货数量	单价(人民币含税)	小计金额(人民币含税)
10kΩ ±1% 125mW 厚膜电阻 编带	C17414	UNI-ROYAL(厚声)	贴片电阻	0805	100	0.0123	1.23
DC 电源 插座内 径:2.5mm 外 径:6.3mm 袋装	C111573	SOFNG(硕方)	DC 电源 连接器	插件	1	0.98	0.98
22kΩ ±1% 125mW 厚膜电阻 编带	C17560	UNI-ROYAL(厚声)	贴片电阻	0805	100	0.0113	1.13
470Ω ±1% 125mW 厚膜电阻 编带	C17710	UNI-ROYAL(厚声)	贴片电阻	0805	100	0.0116	1.16
330nF ±10% 50V 编带	C73142	SAMSUNG(三星)	贴片电容 (MLCC)	0805	50	0.0778	3.89
耐压:1kV 电流:1A 反向恢复 时间: 75ns 编带	C412437	MDD(辰达半导体)	快恢复/ 高效率二 极管	SMA	50	0.059	2.95
1x3P 5.08mm 直插排 数:1 每排 P 数:3 袋 装	C395869	DORABO(地博电气)	螺钉式接 线端子	插 件,P=5.08mm	5	1.456	7.28

商品名称	商品编号	品牌	商品类型	封装格式	型号发货数量	单价(人民币含税)	小计金额(人民币含税)
3.5mm 耳机座 编带	C431535	SHOUHAN(首韩)	音频连接器(耳机)	SMD	10	0.254	2.54
50kΩ ±25% 编带	C913246	BOURNS	可调电阻/电位器	SMD-3P,3.8x3.6mm	5	0.592	2.96
薄膜电阻 5kΩ ±0.1% 200mW 编带	C2073749	VISHAY(威世)	贴片电阻	0805	2	6.795	13.59
1 个 N 沟道耐压:200V 电流:130A 管装	C2921	Infineon(英飞凌)	场效应管(MOSFET)	TO-247AC	4	10.23	40.92
100uH ±10% 2.2A 工字电感 袋装	C5119631	PROD(谱罗德)	色环/插件电感	插件,D10xL19mm	5	1.616	8.08
通用 J-FET 输入 双运算放大器 编带	C5157710	Gcore(扬州国芯)	运算放大器	SOP-8	5	0.858	4.29
1uF ±10% 50V 编带	C28323	SAMSUNG(三星)	贴片电容(MLCC)	0805	20	0.068	1.36
独立式耐压:12V 电流:5uA 编带	C5174492	LGE(鲁光)	稳压二极管	DO-41	10	0.342	3.42

表 1 元器件物料清单

3.6. 下次迭代计划

- 添加开关

- 在 PCB 上安装风扇以及散热器
- 添加 LED 指示工作状态
- 进行立体声合成

4. 工期安排

时间	任务	完成状况
D-3	下订单购买元件, 定制 PCB	是
D-3	提交初期报告	是
D-2	制作电极, 缠绕高压包初级线圈	否
D+1	收到 PCB	是
D+1	进行焊接	否
D+4	进行焊接	是
D+4	测试	是
D+6	总结经验和改进, 绘制下一版原理图与 PCB	
D+7	迭代下一版 PCB	
D+14	撰写中期报告	

表 2 工期计划 (学期第六周周日 23:59 为 D0)

4.1. 测试计划

1. 接入 12V 供电, 利用示波器观察放大输出波形是否正确
2. 接入高压包, 观察是否能产生电弧, 以及是否持续
3. 移动电极距离, 再次观察
4. 评价音质

在 D+4 的测试, 发现放大输出部分是正确的. 而 ZVS 不能正常工作.

5. 其他

感谢 Ayu 教学我使用 KiCAD 绘制原理图, 选择合适的封装, 以及用 KiCAD 绘制 PCB 布线, 教给我关于立创商场的若干技巧. 感谢 ldx 提醒我注意散热.

Bibliography

- [1] “Corona and Arc Discharge.” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=2pLJ2ZX4By4>
- [2] M. S. Mazzola and G. M. Molen, “Modeling of a dc glow plasma loudspeaker,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1987, doi: [10.1121/1.394762](https://doi.org/10.1121/1.394762).
- [3] F. Bastien, “Acoustics and gas discharges: applications to loudspeakers,” *Journal of Physics D: Applied Physics*, 1987, doi: [10.1088/0022-3727/20/12/001](https://doi.org/10.1088/0022-3727/20/12/001).