



卷云硬件开发 SOP

0. 使用说明

适用对象：

- 小团队硬件开发
- 小企业样机开发
- 功能样机到小批试产前阶段

目标：

- 减少返板次数
- 提高首板点亮率
- 让开发过程可复盘、可交接、可改版

建议每块板建立一个项目文件夹，结构如下：

```
项目名称/  
├─ 01_需求与架构  
├─ 02_器件选型  
├─ 03_原理图  
├─ 04_Layout  
├─ 05_发板文件  
├─ 06_Bringup与测试  
├─ 07_改版记录  
└─ 08_归档发布
```

1. 板级需求说明模板

文档名称：《板级需求说明》

版本：V0.1

项目名称：

板卡名称：

负责人：

日期：

1.1 项目背景

这块板用于什么系统：

当前版本目标：

1.2 功能需求

请列出本板必须实现的功能：

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

1.3 输入条件

- 输入电压：
- 输入电流范围：

- 输入信号类型:
- 外部接口来源:

1.4 输出条件

- 输出电压:
- 输出电流:
- 输出控制对象:
- 输出信号类型:

1.5 接口需求

列表:

接口名称	类型	数量	电平/协议	连接对象	备注
UART1	串口	1	3.3V TTL	蓝牙模块	调试可复用
I2C1	总线	1	3.3V	OLED	长线, 需注意稳定性

1.6 电源需求

- 主输入电源:
- 板上各路电源:
- 是否有上电时序要求:
- 是否有大电流/脉冲负载:

1.7 结构需求

- 板框尺寸:
- 最大高度限制:
- 安装孔数量与位置:
- 接插件出线方向:
- 是否需要贴合外壳:

1.8 环境需求

- 工作温度:
- 储存温度:
- 湿度环境:
- 振动/冲击:
- 是否户外使用:
- 是否防水/防尘:

1.9 成本与工艺目标

- PCB 层数目标:
- 铜厚目标:
- 单板 BOM 成本目标:
- 打样数量:
- 是否考虑后续小批生产:

1.10 本版不做的内容

明确写出本版不覆盖的内容, 防止需求蔓延:

- 1.
- 2.

2. 系统方框图 + 电源树模板

文档名称: 《系统架构说明》

版本:

项目名称:

2.1 系统方框图

建议自行绘制, 例图:

24V输入
├ 输入保护 (保险丝/TVS/反接保护)
├ 12V电源支路 → 风扇/执行器
├ 5V电源支路 → 外设
└ 3.3V电源支路 → MCU/OLED/蓝牙/传感器
MCU
├ UART1 → 蓝牙
├ UART2 → 驱动板
├ I2C1 → OLED
├ ADC1 → NTC1/NTC2
├ GPIO → 按键/编码器
└ PWM → 风扇/驱动控制

2.2 电源树

列表:

电源节点	来源	输出值	预估电流	负载对象	备注
VIN	外部输入	24V	2A	整板	主输入
V12	Buck/直通	12V	2.5A	风扇	大电流
V5	Buck	5V	1A	外设	
V3V3	LDO/Buck	3.3V	500mA	MCU/OLED/蓝牙	低噪声优先

2.3 模块划分

列表:

模块	子功能	是否关键模块	风险等级	备注
电源模块	24V转12V/5V/3.3V	是	高	首板重点
控制模块	MCU最小系统	是	高	下载调试必须稳定
显示模块	OLED	否	中	长线 I2C 风险
驱动模块	风扇/PWM/MOS	是	高	涉及温升

3. 《关键器件选型表模板》

文档名称: 《关键器件选型表》

版本:

项目名称:

列表:

模块	器件类别	型号	封装	关键参数	选择理由	风险点	替代料
主控	MCU			Flash/RAM/IO/ 主频		供货/假货	
电源	Buck芯片			Vin/Vout/Iout		散热	
保护	TVS			Vrwm/Vc		输入保护	

模块	器件类别	型号	封装	关键参数	选择理由	风险点	替代料
驱动	MOSFET			Vds/Id/Rds(on)		栅压/发热	
接口	连接器			间距/电流		方向/插拔寿命	

补充检查项

每个关键器件必须确认：

- datasheet 已下载
- footprint 已核对
- 引脚定义已核对
- 耐压/电流满足要求
- 温度范围满足要求
- 可采购
- 有无替代料（可选）

4. 原理图评审表模板

文档名称：《原理图评审表》

版本：

项目名称：

评审日期：

4.1 电源检查

检查项	结果	备注
输入电压范围是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
所有器件耐压是否足够	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
是否有输入保护	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
是否有 TVS/反接/限流考虑	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
电源 EN 默认状态是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
每路电源是否有去耦	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
模拟/数字电源处理是否合理	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

4.2 MCU 检查

检查项	结果	备注
供电脚是否完整连接	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
去耦电容是否齐全	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
BOOT 配置是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
NRST 电路是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
时钟/晶振电路是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
SWD/JTAG 是否预留	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
串口调试口是否预留	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

4.3 接口检查

检查项	结果	备注
接插件引脚序号是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
电平方向是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
是否需要 ESD 保护	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
是否有上拉/下拉	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
是否存在接口冲突	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

4.4 驱动与负载检查

检查项	结果	备注
MOS 方向是否确认	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
二极管方向是否确认	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
电机/风扇/阀负载回路是否正确	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
是否有续流/吸收/保护设计	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
电流检测/反馈链路是否合理	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

4.5 调试与测试检查

检查项	结果	备注
关键电源是否有测试点	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
调试口是否可接示波器/逻辑分析仪	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
预留补救位是否足够	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
关键控制信号是否便于测量	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

4.6 封装与库检查

检查项	结果	备注
符号与 footprint 是否一一对应	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
封装尺寸是否核对 datasheet	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
极性器件是否有方向标记	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
Pin1 是否清晰	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

4.7 评审结论

- 可以进入 Layout
- 修改后再评审
- 暂不通过

评审问题列表：

- 1.
- 2.
- 3.

5. Layout 约束表模板

文档名称：《Layout 约束表》

版本：

项目名称：

5.1 板厂工艺约束

列表：

项目	数值	备注
层数	2 / 4 / 6	
板厚	1.6mm	
铜厚	1oz / 2oz	
最小线宽		
最小线距		
最小机械孔		
最小过孔孔径		

5.2 电气约束

列表：

网络类型	规则	备注
主输入电源	线宽 \geq xx mil	
12V大电流支路	线宽 \geq xx mil	
3.3V主供电	线宽 \geq xx mil	
晶振线	最短、同层、不打孔	
PWM控制线	远离敏感模拟	
I2C	尽量短；长线降速	
ADC采样线	远离开关节点	
差分线	阻抗/等长	如有

5.3 布局约束

列表：

项目	规则	备注
连接器	先按结构定位	
安装孔	禁布铜/禁摆件	
开关电源	高 di/dt 回路最小	
去耦电容	紧贴供电脚	
晶振	紧贴 MCU	
发热器件	预留散热铜皮/导热孔	
模拟前端	远离功率区	
MOS/二极管/电感	紧凑布局	

5.4 接地策略

- 是否整面地平面：
- AGND / DGND / PGND 是否分区：
- 单点连接位置：
- 地过孔加密区域：
- 高速/高电流回流路径说明（可选）：

5.5 测试约束

列表：

项目	要求
每路关键电源必须有测试点	是
SWD/JTAG 可接入	是
日志串口可接入	是
PWM/关键控制信号可测	是
至少预留多个 GND 测试点	是

6. 发板前检查表模板

文档名称：《发板前检查表》

版本：

项目名称：

检查日期：

6.1 原理图一致性

- 原理图已冻结
- 网表已更新到 PCB

- 无未解释的 ERC 报错
- 所有 ECO 已同步

6.2 Layout 检查

- 无未解释的 DRC 报错
- 所有关键器件位置已确认
- 连接器方向已确认
- 安装孔位置已确认
- 丝印不压焊盘
- 极性标记清晰
- 板号/版本号已加
- 关键测试点已加

6.3 制造性检查

- 最小线宽线距符合板厂能力
- 孔径符合板厂能力
- 焊盘开窗合理
- 是否需要塞孔/盖油已确认
- 大电流区域铺铜合理
- 器件间距便于贴装
- 手工焊/返修空间足够

6.4 装配检查

- BOM 已更新
- 所有料号可采购
- 替代料已注明
- PNP/坐标文件已导出
- 装配图已导出
- 极性器件有装配方向说明

6.5 文件输出检查

- Gerber 已导出
- Drill 文件已导出
- 板框层正确
- 阻焊层正确
- 丝印层正确
- 坐标文件正确
- BOM 版本与板版本一致

6.6 最终结论

- 可以发板
- 修改后再检查

问题备注:

- 1.
- 2.
- 3.

7. Bring-up 测试记录模板

文档名称:《Bring-up 测试记录》

板版本:

固件版本:

测试日期:

测试人:

7.1 上电前检查

检查项	结果	备注
外观检查	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
器件焊接质量	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
极性器件方向	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
输入对地阻值	<input type="checkbox"/> 正常 / <input type="checkbox"/> 异常	
各电源 rail 对地阻值	<input type="checkbox"/> 正常 / <input type="checkbox"/> 异常	

7.2 上电测试

测试项	目标值	实测值	结果	备注
输入电压			<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
12V输出			<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
5V输出			<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
3.3V输出			<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
上电电流			<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

7.3 最小系统测试

测试项	结果	备注
SWD 可连接	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
程序可烧录	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
时钟起振正常	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
串口日志正常	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
LED/基础 IO 正常	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

7.4 模块测试

模块	测试内容	结果	备注
OLED	初始化/显示/长线稳定性	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
蓝牙	连接/收发	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
风扇驱动	启停/PWM/温升	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
传感器	数据读取	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	
驱动板通信	收发协议	<input type="checkbox"/> 通过 / <input type="checkbox"/> 不通过	

7.5 问题记录

编号	现象	条件	初步原因	优先级
01				高/中/低
02				高/中/低

7.6 结论

- 首板可继续联调
- 存在严重问题需停下分析
- 需准备改版

8. 问题闭环 / 改版记录模板

文档名称:《问题闭环与改版记录》

项目名称:

当前板版本:

目标板版本:

列表:

编号	问题现象	触发条件	根因分析	修改方案	涉及原理图/PCB/BOM/软件	验证方式	结果
01	OLED 花屏	外接30cm线	I2C边沿过快/干扰	降速+预留串阻+优化上拉	原理图/软件	长线连续重启50次	
02	风扇 MOS 发热	大占空比运行	栅驱不足/铜皮不足	改栅阻+加散热铜	原理图/PCB	满载30min测温	
03	SWD不稳定	接线后偶发	地参考差/接口位置差	改接口布局	PCB	重复插拔测试	

改版总结

本轮改版目的:

本轮只修改的内容:

本轮明确不修改的内容:

下版重点验证项:

9. 版本发布与归档模板

文档名称:《版本发布记录》

项目名称:

列表:

版本	日期	类型	主要改动	状态	负责人
V0.1		原理图初版	完成功能定义	草稿	
V0.2		Layout初版	完成PCB布局	草稿	
V1.0		首板版本	发板	测试中	
V1.1		小改版	修复若干问题	测试中	
V2.0		稳定版	功能稳定	冻结	

归档文件清单

- 原理图源文件
- PCB 源文件
- Gerber
- 钻孔文件
- BOM
- PNP/坐标
- 装配图
- 测试记录
- 改版记录
- 固件版本说明

11. 标准硬件 Bring-up 顺序

A. 外观检查

- 有没有装反
- 有没有桥连
- 有没有漏焊
- 连接器方向对不对

B. 断电测阻

- 输入对地阻值
- 各电源 rail 对地阻值
- 怀疑短路的先别上电

C. 限流上电

- 电源限流设置低一点
- 先不带大负载
- 看是否异常拉电流

D. 测试电源树

- VIN
- 12V
- 5V
- 3.3V
- 参考电压
- 关键偏置点

E. 测试最小系统

- 复位
- 时钟
- 下载口
- 串口日志
- 最小 LED 程序

F. 逐模块验证

- 显示
- 通信
- 传感器
- PWM
- 功率驱动
- 外接负载

G. 温升和稳定性

- 空载温升
- 负载温升
- 连续运行稳定性
- 多次上下电重复性

12. 版本命名规则建议

硬件版本

- HW_V1.0: 首板
- HW_V1.1: 小修版, 不改架构
- HW_V2.0: 明显改架构或大改布局

固件版本

- FW_V0.1: Bring-up 版本
- FW_V0.5: 模块联调版本
- FW_V1.0: 和硬件稳定版配套

文件命名建议

```
项目名_HW_V1.0_SCH  
项目名_HW_V1.0_PCB  
项目名_HW_V1.0_BOM  
项目名_HW_V1.0_Gerber  
项目名_HW_V1.0_BringupReport
```

13. 项目风险清单

文档名称: 《项目风险清单》

编号	风险	等级	可能后果	预防措施	应对方案
R01	长线 I2C 不稳定	高	OLED 花屏/初始化失败	降速/预留串阻/加强地线	改线速/飞线修正
R02	大电流走线不足	高	发热/压降	提前算线宽/铺铜	飞线补铜/改版
R03	MOS 驱动不足	中	发热/开关慢	计算栅驱/测波形	改栅阻/换管
R04	接插件定义错误	高	板子无法使用	发板前双人复核	飞线/改版

14. 本 SOP 使用方法

每做一块板, 按下面执行:

第一天填:

- 《板级需求说明》
- 《系统架构说明》
- 《风险清单》

第二天填:

- 《关键器件选型表》

画完原理图后填:

- 《原理图评审表》

开始 Layout 前填:

- 《Layout 约束表》

发板前填:

- 《发板前检查表》

回板后填:

- 《Bring-up 测试记录》

准备改版时填:

- 《问题闭环与改版记录》

最后发布时填:

- 《版本发布记录》