MS001-B.02.002DD.1.0

MS-001

嵌入式硬件详细设计说明书

编制/日期：

审核/日期：

批准/日期：

杭州三坛医疗科技有限公司

文档更改履历

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 版本号 | 发布/实施日期 | 更改内容概述 | 更改者 |
| V1.0 |  | 文件新编 |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**目录**

[1. 引言 1](#_Toc15025)

[1.1. 编写目的 1](#_Toc15839)

[1.2. 项目背景 1](#_Toc1304)

[1.3. 技术需求输入 1](#_Toc337)

[1.4. 定义 1](#_Toc2660)

[1.5. 参考资料 1](#_Toc23460)

[2. 功能和性能 2](#_Toc12655)

[2.1. 功能需求与实现 2](#_Toc26268)

[2.2. 控制板功能描述 6](#_Toc10712)

[2.3. 运行环境说明 7](#_Toc25738)

[2.4. 重要性能指标 7](#_Toc24884)

[2.5. 总体框图 8](#_Toc30506)

[2.6. 尺寸和接口定义 8](#_Toc6876)

[3. 功能单元设计 9](#_Toc8885)

[3.1. STM32微控制单元模块 9](#_Toc1866)

[3.2. 电源模块 10](#_Toc9823)

[3.3. 机械臂电源开关模块 11](#_Toc24339)

[3.4. 升降立柱模块 12](#_Toc15823)

[3.5. UART串口通讯模块 13](#_Toc26371)

[3.6. RGB灯模块和脚踏模块 14](#_Toc15193)

[3.7. 外接模块的硬件设计 15](#_Toc11764)

[3.7.1. 系统模块关系 15](#_Toc10494)

[3.7.2. UPS控制板模块 16](#_Toc6721)

[3.7.3. RGB灯板模块 16](#_Toc20097)

[3.7.4. 按键板模块 17](#_Toc19476)

[3.7.5. 激光控制板 18](#_Toc11539)

[3.8. PC和机械臂状态反馈模块 18](#_Toc17116)

# 引言

## 编写目的

为了规范及保证MS-001项目工作合理有序的开展，作一个任务目标的阐述和总体系统框架结构的设计，明确系统处理流程、各个模块及模块之间的关联、也包括系统的内外部接口、以及其他各种主要问题的解决方案。本文档是针对硬件系统进行详细设计，将系统各部分模块功能原理进行阐述。

本项目详细设计说明书用于MS-001，并面向项目组全体成员。

## 项目背景

MS-001能够实现台车升降、启停机械臂、传输脚踏信号给上位机以及显示机械臂运行时状态（RGB灯颜色显示），通道升降按键板控制机械臂台车通道升降等功能，对控制板进行功能分解，按模块实现上述功能同时需要考虑系统的稳定性和合规性。

## 技术需求输入

根据《MS-001嵌入式硬件概要设计说明书》中功能设计，UR控制板集成了各按键、脚踏和指示灯信号输入、直流电机控制、RGB灯的指示、UPS控制板信号输出及与上位机的串口通讯等功能。

## 定义

本项目开发硬件中文全称：UR控制板、RGB灯板、按键板、UPS控制板、激光控制板。

## 参考资料

《MS-001嵌入式硬件概要设计说明书》

《GB∕T 14710-2009 医用电器环境要求及试验方法》

《GB 9706.1-2007 医用电气设备 第1部分：安全通用要求》

《YY 0505-2012 医用电气设备 第1-2部分：安全通用要求》

# 功能和性能

## 功能需求与实现

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品技术需求说明书-产品性能需求** | | | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | | | **硬件实现方式说明** |
| 000205 | 定位时间：≤10秒 | | | 选择UR5机械臂，保证定位时间在10秒内 |
| **技术需求说明书-规划台车功能需求** | | | | |
| **输入需**  **求序号** | | **功能需求** | **硬件实现方式** | |
| 120001 | | 使用环境：手术室 | 采用符合GB/T 14710-2009环境要求的元器件，同时进行优化设计 | |
| 120003 | | 供电方式：AC 220V 50/60Hz | 选用AC 220V 50/60Hz电源配套关键器件 | |
| 120005 | | 接口：USB口2个（USB常用，考虑放置在操作台上） | 主机选型需要大于2个USB接口 | |
| 120006 | | 接口：网口4个 | 使用交换机扩展网口 | |
| 120007 | | 接口：电源接口1个（防脱落设计） | 电源接口选用带防脱落装置的接口 | |
| 120008 | | 开关按钮：系统开关1个（包括指示灯） | 电源部分外置一个开关 | |
| 120009 | | 灯光：电源指示灯1个，设备上电后立即亮起 | 电源开关并联一个指示灯 | |
| 120010 | | 灯光：系统运行指示灯1个 | 主机开机后增加一个灯作为指示 | |
| 120011 | | 显示方式：宽视野显示器 | 选用优派VX3515-2KC-PRO显示器 | |
| 120013 | | 台车组成：系统PC机 | 台车内置惠普ProDesk680 G5 PCIMT PC机 | |
| 120014 | | 台车组成：交换机（至少4个接口） | 选用腾达TEG1005D 5口交换机 | |
| 120015 | | 台车组成：电源模块、滤波器 | 使用SCHURTER DD12.9321.111电源滤波模块和VOXPOWER NEVO+600M开关电源模块 | |
| 120016 | | 台车组成：宽屏显示器 | 选用优派VX3515-2KC-PRO显示器 | |
| 120018 | | 光驱 | 选用三星SE-086CM光驱 | |
| **技术需求说明书-导引台车功能需求** | | | | |
| **输入需**  **求序号** | | **功能需求** | **硬件实现方式** | |
| 130001 | | 使用环境：手术室 | 采用符合GB/T 14710-2009环境要求的元器件，同时进行优化设计 | |
| 130003 | | 电源：AC 220V 50/60Hz | 选用AC 220V 50/60Hz电源配套关键器件 | |
| 130005 | | 接口：USB口3个（USB常用，操作台上2个、后面板1个） | PC机选用多USB口类型，或者增加USB扩展口 | |
| 130006 | | 接口：网口2个 | 使用交换机进行网口扩展 | |
| 130007 | | 接口：电源接口1个（防脱落设计） | 电源接口选用带防脱落装置的接口 | |
| 130008 | | 接口：脚踏开关插口1个 | 脚踏开关直接与机械臂通讯控制 | |
| 130009 | | 开关按钮：急停开关1个 | 急停开关直接控制机械臂紧急停止接口 | |
| 130010 | | 开关按钮：台车升、降按钮各1个（包含指示灯） | 需要设计控制板，实现台车升降和灯光显示，见3.4 | |
| 130011 | | 开关按钮：通道升、降按钮各1个（包含指示灯），结构设计为接线式遥控器 | 需要设计通道升降按键板，实现通道升、降，见3.7.4 | |
| 130012 | | 开关按钮：系统开机按钮1个（包含指示灯） | PC机开机按键外接，指示灯接PC机USB口供电 | |
| 130013 | | 开关按钮：机械臂上电开关按钮1个（包含指示灯） | 设计控制板，实现机械臂上电，和对应按键指示灯，见3.3 | |
| 130014 | | 灯光：电源指示灯1个，设备上电后立即亮起 | 内部网电源直接连接至指示灯 | |
| 130015 | | 灯光：系统运行指示灯1个 | PC机USB口供电 | |
| 130017 | | 15寸显示器 | 选用荣歌FC-1560CF屏 | |
| 130019 | | 台车组成：机械臂及控制系统 | 设计控制板，与机械臂和机械臂控制箱协同工作，见3.8 | |
| 130020 | | 台车组成：主机 | 选用惠普EliteDesk800 G5 Desktop Mini主机 | |
| 130021 | | 台车组成：UPS | 系统包含UPS系统，同时设计UPS控制板，与UPS协同工作，见3.7.2 | |
| 130022 | | 台车组成：交换机 | 选用腾达TEG1005D 5口交换机 | |
| 130023 | | 台车组成：升降立柱 | 系统包含升降立柱，同时设计控制板，控制升降立柱工作，见3.4 | |
| 130024 | | 台车组成：开关电源、滤波器 | 系统开关电源为控制板供电，网电源入口加装滤波器 | |
| 130025 | | 台车组成：显示器 | 选用荣歌FC-1560CF屏 | |
| 130026 | | 台车组成：脚撑、静音轮 | 系统包含脚撑和静音轮 | |
| 130027 | | 台车组成：脚踏开关 | 系统包含脚踏开关，同时设计控制板，对脚踏功能进行协同控制 | |
| 130028 | | 台车组成：体位反馈模块的固定支架 | 系统包含一个支架，用于固定体位反馈模块 | |
| **技术需求说明书-体位反馈功能需求** | | | | |
| **输入需**  **求序号** | | **功能需求** | **硬件实现方式** | |
| 140001 | | 使用环境：手术室 | 采用符合GB/T 14710-2009环境要求的元器件，同时进行优化设计 | |
| 140002 | | 安装方式：安装在手术导引台车 | 手术导引台车包含一个支架，用于固定体位反馈模块 | |
| 140003 | | 安装方式：安装在手术室 | 采用符合GB/T 14710-2009环境要求的元器件，同时进行优化设计 | |
| 140004 | | 供电方式：独立电池供电 | 设计体位反馈模块电路为电池供电方式，见3.7.5 | |
| 140005 | | 开关按钮：开关功能 | 设计体位反馈模块电路具有一个开关按键，见3.7.5 | |
| 140006 | | 开关按钮：激光亮度调节功能 | 设计体位反馈模块电路开关按键具有激光亮度调节功能，见3.7.5 | |
| 140008 | | 设备组成：7号电池 | 设计体位反馈模块电路为7号电池供电方式，见3.7.5 | |
| 140009 | | 设备组成：PCB板 | 体位反馈模块包含PCB板 | |
| **技术需求说明书-非功能需求** | | | | |
| **输入需**  **求序号** | | **功能需求** | **硬件实现方式** | |
| 170106 | | 与电源的连接需标明相关信息 | 标签上标明电源信息 | | |
| 170107 | | 如有应用部分，应用部分应标记电击防护程度分类等相关符号； | 无应用部分 | | |
| 170108 | | 安全符号和警告性的标识应有对能造成生理效应的危险适当标记，如激光； | 体位反馈模块增加激光警告性标识 | | |
| 170109 | | 熔断器，温度保护开关和热流保护开关：  在其附近标上型号、额定值（电压、电流、运作速度、阻断电容），在随附文件中给出参考标记 | 熔断器，温度保护开关边上标签上标明型号和额定值 | | |
| 170110 | | 电源端子：在其附近标记出电源要求 | 电源端子附近标记输入电源电压、频率信息 | | |
| 170111 | | 导线：应标记导线的图号/线号/颜色/功能 | 导线标记线号 | | |
| 170112 | | 指示灯：应该明确定义指示灯的颜色及定义，并给出标示说明 | 指示灯下方进行说明 | | |
| 170201 | | 接地电阻：  应符合GB 9706.1-2007 医用电气设备 第1部分：安全通用要求 | 按照GB 9706.1-2007 医用电气设备进行系统设计 | |
| 170202 | | 漏电流：  应符合GB 9706.1-2007 医用电气设备 第1部分：安全通用要求 | 按照GB 9706.1-2007 医用电气设备进行系统设计 | |
| 170203 | | 绝缘：  应符合GB 9706.1-2007 医用电气设备 第1部分：安全通用要求 | 按照GB 9706.1-2007 医用电气设备进行系统设计 | |
| 170204 | | 爬电距离和电气间隙：  应符合GB 9706.1-2007 医用电气设备 第1部分：安全通用要求 | 按照GB 9706.1-2007 医用电气设备进行系统设计 | |
| 170301 | | 辐射：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170302 | | 传导发射：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170303 | | 静电放电：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170304 | | 射频磁场辐射：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170305 | | 脉冲群：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170306 | | 浪涌：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170307 | | 射频场传导骚扰：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170308 | | 电压暂降、短时中断：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170309 | | 工频磁场：  应符合YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求 | 按照YY 0505-2012《医用电气设备 第1-2部分 安全通用要求并列标准 电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170509 | | 电子接口：  产品应实现电子接口要求符合《医疗器械网络安全注册审查知道原则》的要求 | 按照《医疗器械网络安全注册审查知道原则》规范电子接口 | |
| 170601 | | 环境试验应符合 GB/T 14710-2009 《医用电器环境要求及试验方法》并制定相应的环境试验表 | 按照GB/T 14710-2009 《医用电器环境要求及试验方法》的要求进行系统设计和选型 | |
| 170701 | | 如有激光类组件，应符合GB7247.1-2012《激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求》的要求。 | 按照GB7247.1-2012《激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求》的要求设计体位反馈模块激光功率 | |
| 170702 | | 如有脚踏开关组件，应符合YY1057-2016《医用脚踏开关通用技术条件》的要求。 | 按照YY1057-2016《医用脚踏开关通用技术条件》的要求进行脚踏开关选型 | |
| 170703 | | 应最低满足8年的有效期。 | 器件选型时确保器件使用寿命 | |

## 控制板功能描述

1. UR控制板通过串行通讯技术与PC主机进行指令传输，UR控制板还具备控制手术机械臂电源开关、PC主机电源开关、台车立柱升降及RGB三色灯显示等功能。
2. UPS控制板用来控制UPS电源延时开关机；
3. RGB灯板内部LED灯以并联的方式连接，外接在主控板RGB灯接口处。
4. 通道升降按键板主要包括两个按键，外接到机械臂控制箱的IO口。
5. 激光控制板使用单节7号电池供电，通过开关按键控制激光发光亮度，激光光点作为标记点，标记病人是否发生移动。

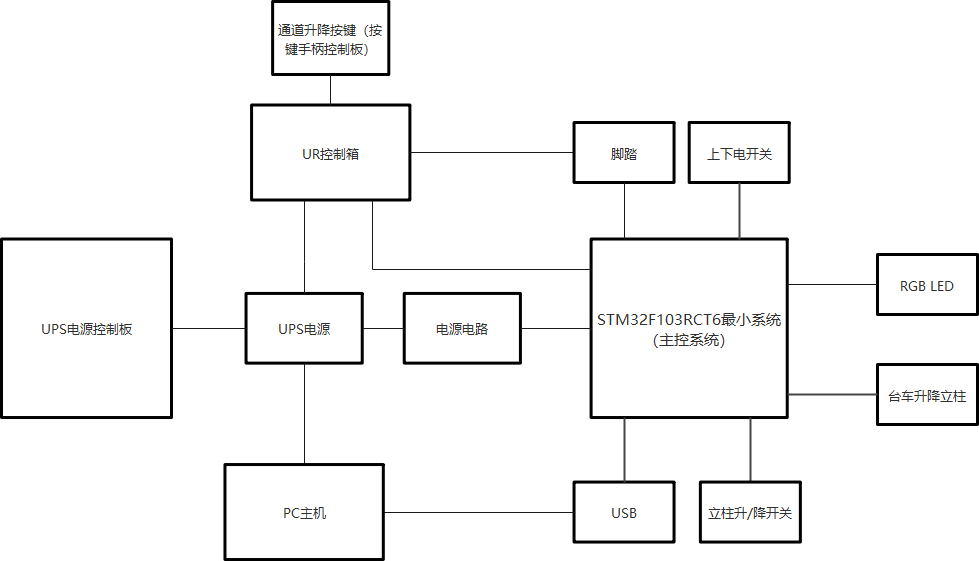
## 运行环境说明

物理环境：UR主控板、UPS控制板、RGB灯板和按键板安装于MS-001内，整个系统工作于手术室内，激光控制板安装于体位监测装置内。手术室是一个无菌的操作空间。

## 重要性能指标

产品设计总体性能需要符合《GB∕T 14710-2009 医用电器环境要求及试验方法》、《GB 9706.1-2007 医用电气设备 第1部分：安全通用要求》、《YY 0505-2012 医用电气设备 第1-2部分：安全通用要求》等国家和行业标准要求，在电气安全、电磁干扰、环境适用性上满足相应标准的要求。

## 总体框图



激光控制板

图2.4-1电路板总体框图

## 尺寸和接口定义

根据系统空间要求，UR控制板外形尺寸需要设计为200mm×100mm，并且所有接口处于板子的同一边，接口具体功能定义如下：

表2.5－1 接口说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 接口名称 | 位号 |
| 1 | 24V电源接口 | J8 |
| 2 | UR机械臂启停按钮 | J2 |
| 3 | UR控制箱DI-ON和DI-OFF | J1 |
| 4 | UR控制箱灯信号  （UR机械臂启动反馈） | J5 |
| 5 | 立柱 | J9 |
| 6 | 脚踏 | J3 |
| 7 | 台车升按钮 | J7 |
| 8 | 台车降按钮 | J6 |
| 9 | RGB-LED灯板 | J11 |
| 10 | USB串口通信 | J12 |
| 11 | STM32F103烧录口 | J4 |

# 功能单元设计

MS-001系统主要包括STM32微控制单元最小系统模块、电源模块、机械臂控制箱电源开关模块、升降立柱模块、UART串口通讯模块、RGB灯模块、UPS控制板、脚踏模块和UPS控制模块。

## STM32微控制单元模块

本次设计选择了STM32F103RCT6作为微控制单元（MCU），以该MCU为核心，实现MS-001的多功能控制。其内核是基于ARM32位的Cortex-M3的CPU，内核频率达72MHz,具有51个I/O口,程序存储器类型为FLASH,容量为256kB。外接设备包括12通道的DMA,3个12位的ADC和3个12位的DAC、11路TIMER定时器等。同时，该芯片支持2.0-3.6V的电源供电。

STM32最小系统由晶振电路、复位电路、SWD下载电路等组成。其电路如图4.1-1所示。为确保单片机系统中电路稳定可靠地工作，复位电路是必不可少的。复位电路用于芯片复位，本设计采用上电复位的方式复位，上拉电阻选择100kΩ，下拉电容选择100nF.其原理为：由于阻容串连电路中电容C5两端电压不能突变，因此在上电时，NRST端会维持一段时间的低电平，起到低电平复位信号的作用，随着Vcc电源通过电阻R6向电容C5充电，C5两端的电压差逐渐增大，经过一段时间后变为高电平，上电复位信号结束。BOOT0接下拉电阻至地，BOOT1悬空，芯片启动方式设置为用户闪存储存器启动。晶振电路即始终电路，给STM32单片机提供系统时钟。本设计晶振电路外接8MHz的晶振为高速外部时钟（HSE），通过分频器最高可达72MHz。串行调试（SWD）电路用于程序下载，相较JTAG调试接口至少占用芯片5-6个引脚，无法适合引脚较少的MCU。

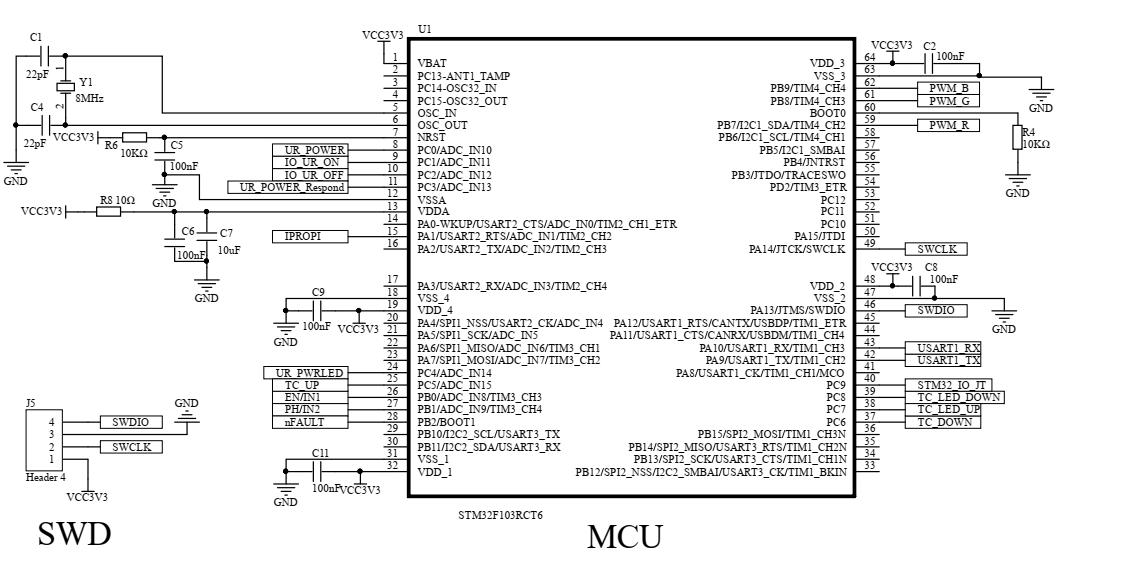


图3.1-1 STM32最小系统电路图

## 电源模块

UR主控板系统设计中，电源模块主要是给系统各模块进行供电，必须具有稳定可靠的性能。电源模块的输入电压来自外部UPS电源，UPS电源输出24V的电压信号较稳定，在电源电路输入端使用了防反接电路。从UPS电源输入的24V直流电需要转换成5V和3.3V直流电供给其他设备使用。电源模块电路如图3.2-1所示。

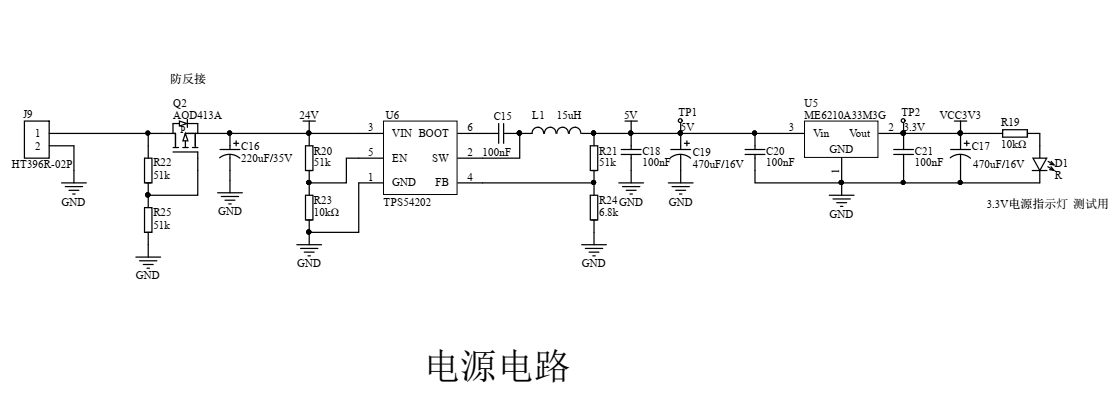


图3.2-1 电源模块电路图

电源电路输入24V电压，经过防反接场效应管后一路输入到DC-DC电源芯片，另一路输入到电机驱动芯片。在设计低速电路时，通常的做法是在芯片的每个电源管脚上添加一些0.1uF的电容，另外再增加几个容量为100uF左右的大电容。 另外，还需要在一些芯片的电源管脚添加电感等感性元件，这样可以形成有去耦作用的去耦网络。使用TPS54202DC-DC芯片，将24V电压转换成5V的电压。TPS54202是一款输入电压范围为4.5V至28V的2A同步降压转换器。该器件包含两个集成式开关场效应晶体管 (FET) 并且具备内部回路补偿和 5ms 内部软启动功能，可降低组件数。通过集成 MOSFET 并采用 SOT-23 封装，TPS54202获得了高功率密度，并且在印刷电路板 (PCB) 上的占用空间非常小。通过设置BOOT和SW端的接地电阻，可设置输出电压。主控板系统中，5V电压需要供给按键指示灯、RGB灯电路及数字隔离芯片。

5V电压经过ME6210A33M3G低压差线性稳压器(LDO)转换为3.3V电压。该LDO输入输出电源引脚端均接去耦电容和旁路电容，避免系统各模块之间的电压串扰。本系统中，3.3V电压除需要给STM32单片机供电外，还要给光耦、按键和脚踏与单片机I/O连接端供电。

## 机械臂电源开关模块

机械臂控制箱电源开关模块的功能是控制机械臂的电源开关。机械臂控制箱上有对应的ON/OFF接口，通过控制ON/OFF接口的高电平，分别实现机械臂开机和关机。此外机械臂控制箱提供12V的直流电输出，因此只要控制机械臂控制箱开关ON/OFF信号与12V电压信号的通断，即可控制机械臂开关。

主控板设计中，由于单片机的部分I/O口能容忍的电压最大值为5V，部分只能容忍3.3V电压，因此需要通过光电隔离器实现单片机I/O口信号与机械臂控制箱信号的电气隔离。机械臂的开关机使用同一个按键，其开关机原理是：当电源按键被按下时，产生一个下降沿信号，单片机通过判断控制箱的上电反馈信号是否有效，对应管脚输出低电平，将机械臂控制箱对应管脚拉高，执行开机或关机任务。同时，在机械臂开关机过程及完成后，将按键指示灯点亮，提示开关机状态。机械臂开关机模块如图3.3-1所示。

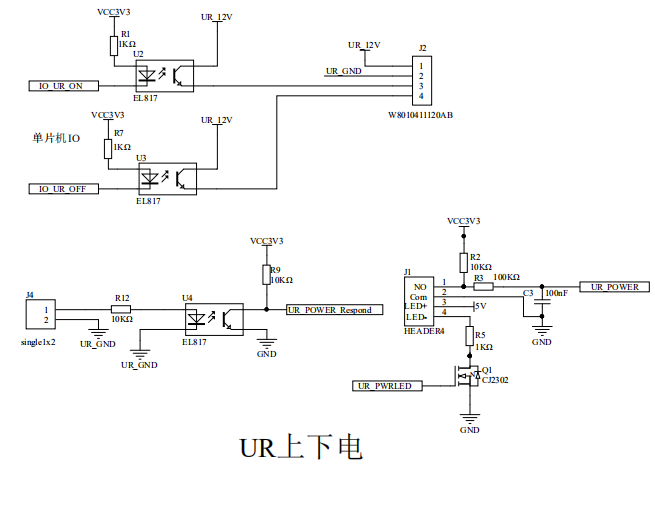


图3.3-1 机械臂开关机电路图

## 升降立柱模块

本主控板升降立柱模块的功能为控制手术引导台车的升降，手术台车的升降靠升降立柱实现。由于手术台车上装载机械臂和显示屏等设备，对于升降立柱直流电机而言负载较大，因此升降立柱模块电路的板载电流需能承受较大数安培的值。主控板升降立柱模块包括两个按键和电机驱动芯片。两个按键分别控制手术引导台车的上升和下降，按键带指示灯，采用5V电压给指示灯供电，并通过单片机驱动MOS管的方式控股指示灯亮灭。

升降立柱模块的核心为电机驱动模块，由第二章系统设计方案中升降立柱电机驱动方案描述可知，本设计电机驱动器使用TI公司的DRV8874芯片，外接电路参考该芯片数据手册的典型应用电路设计。该电机驱动器的主要引脚功能如表3.4-1所示。

表3.4-1 DRV8874主要引脚图

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 引脚号 | 引脚 | 功能 | 外部连接引脚 |
| 1 | EN/IN1 | H桥控制输入 | PB0 |
| 2 | PH/IN2 | H桥控制输入 | PB1 |
| 3 | nSLEEP | 睡眠模式输入，逻辑高使能驱动器，逻辑低进入低功耗睡眠模式 | / |
| 4 | nFAULT | 故障指示灯输出。故障时拉低。 | PB2 |
| 5 | VREF | 外部参考电压输入设置内部电流调节限制。 | 3.3V |
| 6 | IPROPI | 模拟电流输出与负载电流成比例 | PA1 |
| 7 | IMODE | 电流调节及过流保护方式 | 地 |
| 8 | OUT1 | H桥输出 | 电机A |
| 9 | PMODE | H桥控制模式输入 | 地 |
| 10 | OUT2 | H桥输出 | 电机B |
| 11 | VM | 4.5-V至37-V电源输入 | 24V |

DRV8874电机驱动器通过控制EN/IN1和PH/IN2引脚，可以实现三种方式的控制，分别为PH/EN、PWM和独立半桥，本设计采用PH/EN的控制方式，PH/EN模式允许用速度和方向型接口控制H桥。其真值表如表3.4-2

表3.4-2 DRV8874主要引脚图

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| nSLEEP | EN | PH | OUT1 | OUT2 | 描述 |
| 0 | X | X | Hi-Z | Hi-Z | 低功耗睡眠模式 |
| 1 | 0 | X | L | L | 制动模式 |
| 1 | 1 | 0 | L | H | 反转(OUT2 to OUT1） |
| 1 | 1 | 1 | H | L | 正转(OUT1 to OUT2） |

注：Hi-Z表高阻态

通过在IPROPI端设置采样电阻，可以设置升降立柱模块的过流保护的保护值。升降立柱模块电路如图3.4-1所示。

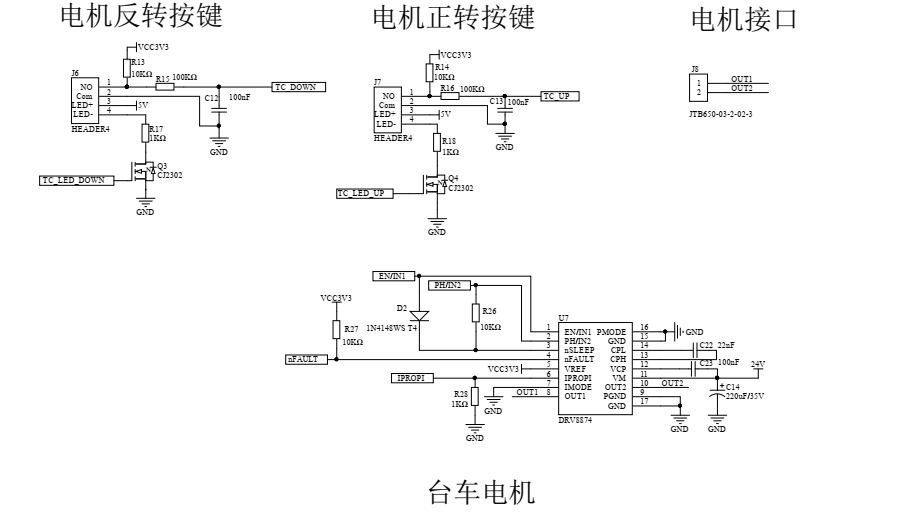


图3.4-1 升降立柱模块电路图

## UART串口通讯模块

串口通讯模块的功能是实现单片机与上位机（PC）的通讯。USB转串口的方式可实现上位机和下位机的通信, 将下位机的串口经过USB转串口芯片转换成USB接口来连接上位机。本文采用常见的CH340G芯片实现USB转串口，该芯片具有价格便宜，兼容性强等优势。为保护PCB板，避免器件因受到静电场等干扰而损坏，在USB2.0接口与芯片之间，增加了ESD 保护电路。USB2.0的数据信号线一般选用TVS管来实现ESD防护。本设计选用意法半导体的USBLC6-2SC6二极管芯片实现USB2.0接口与CH340芯片之间数据信号线的连接。

为增强数据传输抗干扰能力，在串口转换芯片与单片机管脚之间设置了隔离电路，实现电气隔离。以往电气大都使用6N137高速光电隔离芯片 (最高速率为10 Mb/s) ,一个6N137芯片只能隔离一路通信通道, 且6N137为8个引脚, 再加上6N137芯片外接的限流电阻，使得电路变复杂。

本设计采用ADI公司推出的双通道数字隔离器ADUM1201，与6N137相比有更高的通信速率。ADUM120还有体积小、性价比高、应用灵活、功耗低的特点。ESD保护加电器隔离电路的设计，使得串口通讯模块既稳定又简洁。UART串口通讯模块电路如图3.5-1所示。

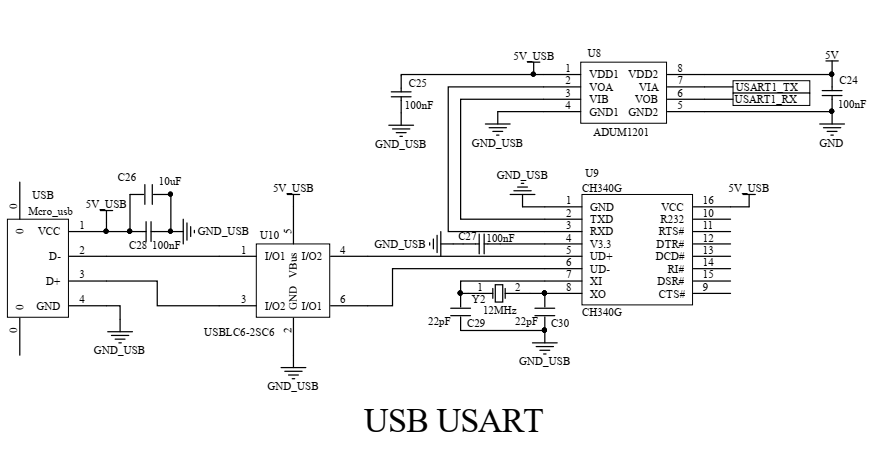


图3.5-1 UART串口通讯模块电路图

## RGB灯模块和脚踏模块

RGB模块用于指示机械臂运动定位的状态，机械臂运动定位的状态是通过网口通讯传送至上位机的，上位机再通过USB2.0接口与单片机进行串口通讯。本设计中，灯光模块采用外接形式，灯光模块的主要电路在柔性电路板上。接口电路由图3.6-1所示。主控板电路的RGB灯模块仅包含小部分驱动电路。由于STM32单片机I/O驱动电压较小，因此本设计采用MOS设计驱动电路，增强单片机的驱动能力。单片机通过调节R、G、B端口PWM的占空及占空比的切换实现灯光颜色的变化和呼吸灯的效果。PWM调光分为正调光和负调光,正调光就是当占空比为100%最高,负调光就是0%最亮,本电路设计采用PWM负调光模式,即当PWM为低电平时发光,高电平时不发光。

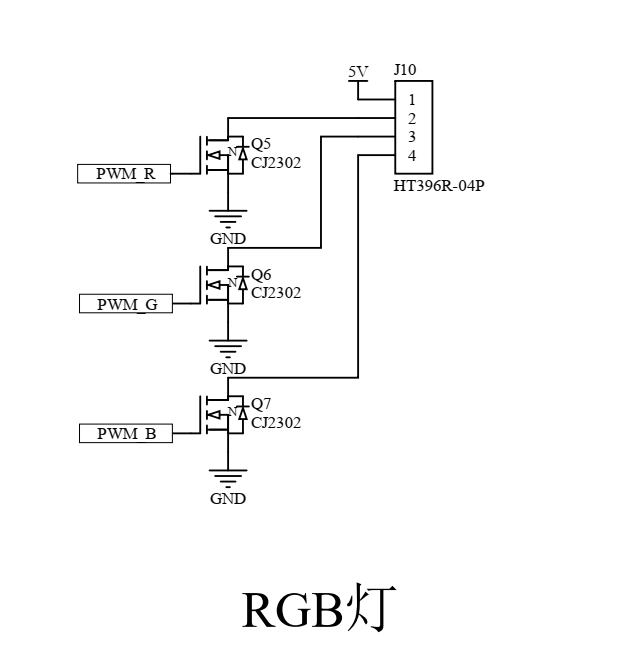


图3.6-1 RGB灯模块电路图

脚踏相当于一个常开形式的按键开关，脚踏踩下时闭合，其电路如图3.6-2 所示，单片机I/O前加入了滤波电容，起硬件消抖的作用。

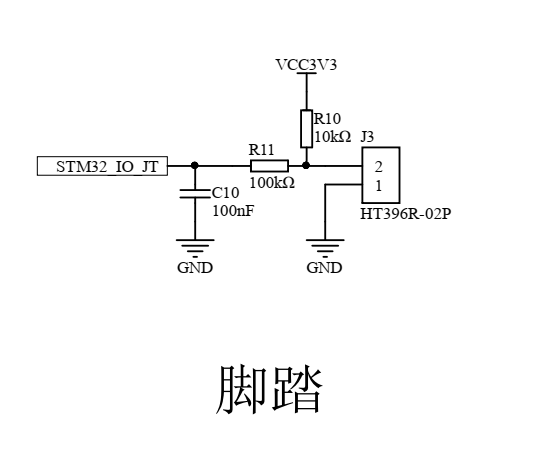


图3.6-2 脚踏模块电路图

## 外接模块的硬件设计

### 系统模块关系

外接模块硬件设计包括UPS控制板硬件设计、按键板硬件设计和RGB灯板硬件设计。其中，UPS控制板模块用于控制UPS开机以及UPS输入电源掉电延时关机，按键板相当于按键模块，控制机械臂通道升降，而RGB灯板模块即为主控板RGB灯模块外接设备，其受控于主控板。如图3.7.1-1所示为MS-001机械臂台车控制系统模块关系图。

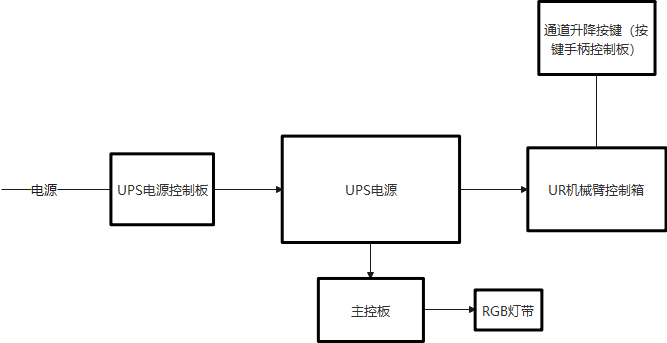


图3.7.1-1 模块关系图

### UPS控制板模块

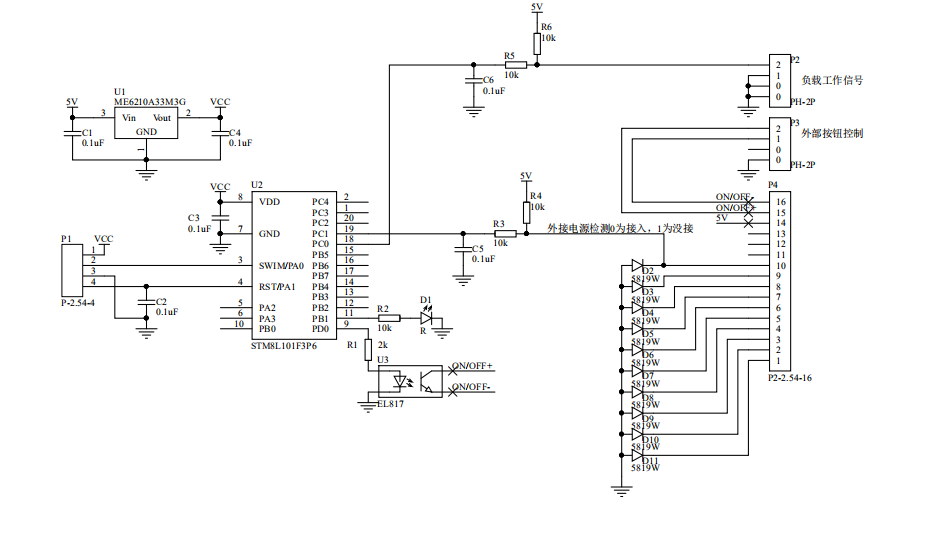
UPS控制板的功能是实现UPS电源上电开机及掉电延时关机。UPS控制板具体电路如图4.7.2-1所示。

图3.7.2-1 UPS控制板模块

### RGB灯板模块

根据设计要求，RGB灯板需安装在环形的灯槽内，因此RGB灯板电路板采用了柔性电路板。RGB灯采用共阳极的连接方式，5V电源分别经过两个130Ω电阻（绿色、蓝色灯珠）及一个200Ω电阻（红色灯珠）连接至RGB灯二极管的阳极上。由RGB灯珠的产品手册可知，该灯珠进正常工作电流为20mA峰值正向电流为30mA。本设计中，该灯珠的阴极连接至单片机驱动的MOS管的漏级（D极），当单片机I/O口输出为高电平时，MOS管导通，灯珠的阴极被拉低至地，RGB灯珠的每个二极管上产生正向压降，二极管导通，灯珠发光。RGB灯不同颜色灯珠的二极管的正向电压范围如表3.7.3-1所示。可知，红色灯珠的正向电压范围相比于绿光和蓝光小，因此，在设置PWM占空比时，需要注意此事项。

表3.7.3-1 RGB灯正向电压范围值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 颜色 | Red(红光) | | Green（绿光） | | Blue（蓝光） | |
| 范围 | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX |
| 正向电压VF/V | 1.8 | 2.4 | 2.8 | 3.4 | 2.8 | 3.4 |

注：25℃环境状态下测试

RGB灯板模块电路如图3.7.3-1所示，灯板由32个RGB灯组成，每个RGB灯相对于5V电源和R、G、B接口为串联模式，每个RGB灯之间为并联模式。单片机通过PWM脉宽调节的方式，控制灯的显示效果。

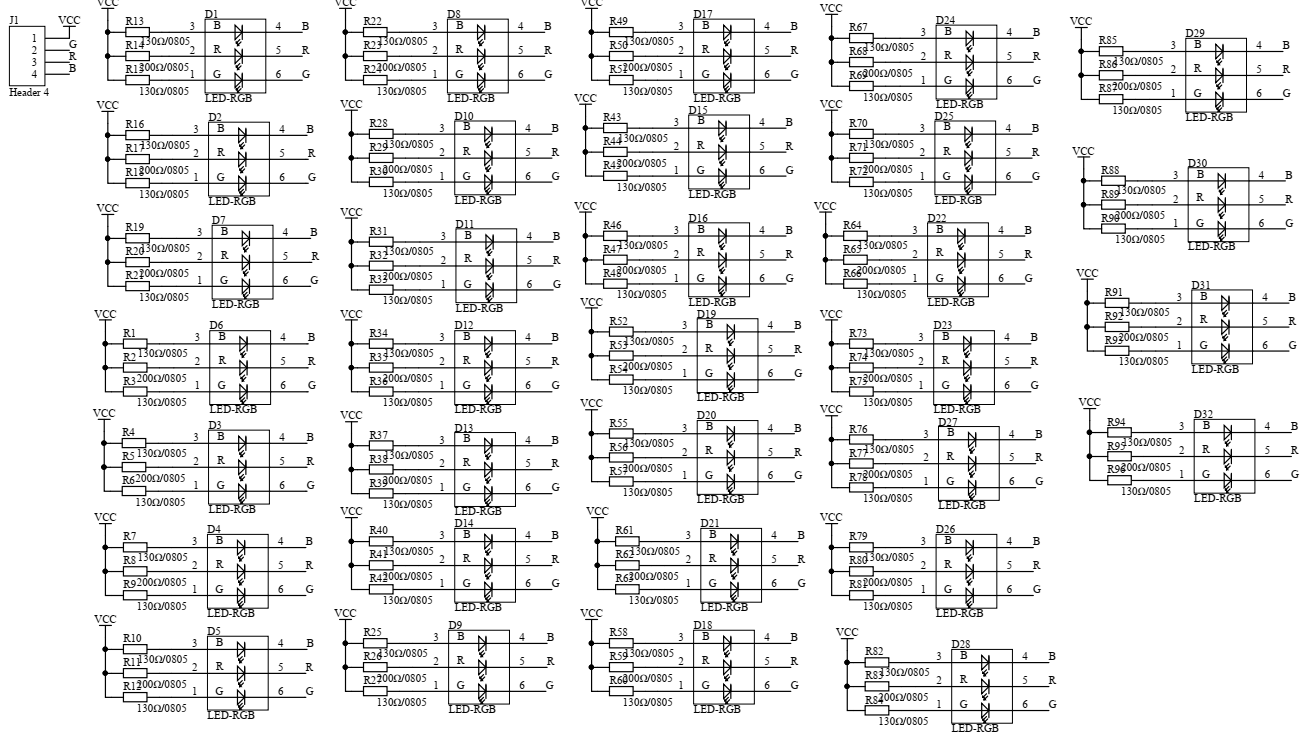


图3.7.3-1 RGB灯板电路图

### 按键板模块

此模块功能是控制机械臂末端执行器通道的升降。本设计中，考虑到MS-001定位完成后建立手术通道操作的便捷性，将通道升降按键设置成遥控手柄的形式，即设计带线的遥控板，利用手柄上的按键执行机械臂末端执行器升降操作。此举可以实现短距离的（远程操作），即可远离手术台车，靠近手术台操作机械臂。

按键板如图3.7.4-1所示。此模块包括两个按键和一个接插口，两个按键分别控制机械臂末端执行器的升降操作，接插口连接至机械臂控制箱的I/O口，实现对机械臂的控制。

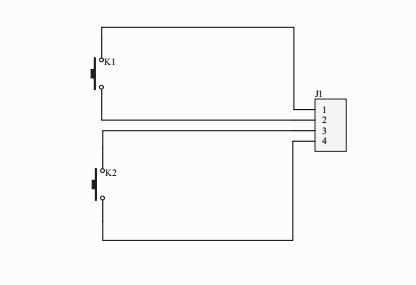


图3.7.4-1 按键板电路图

### 激光控制板

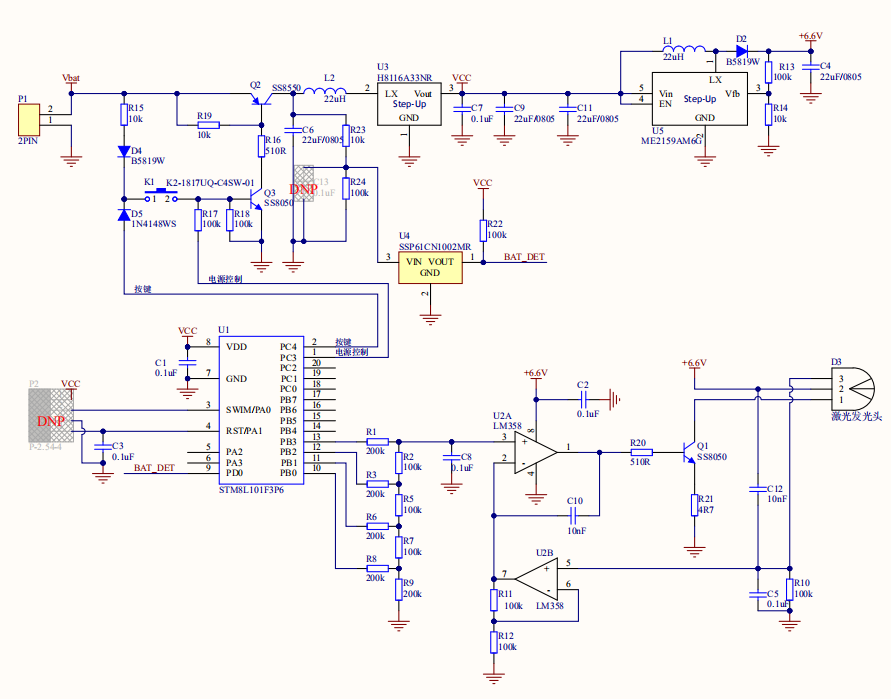


图3.7.5-1 激光控制板电路图

激光控制板使用单节7号电池供电，通过开关按键控制激光发光亮度，通过激光管电流反馈引脚与设定的电压档位进行比较，从而实现不同的单片机IO口开启控制不同的激光管亮度。

## PC和机械臂状态反馈模块

UPS反馈信号通过判断UPS与机械臂控制箱的开关机状态，将状态信号输出至UPS控制板，UPS判断此信号是否有效，控制UPS开关机。

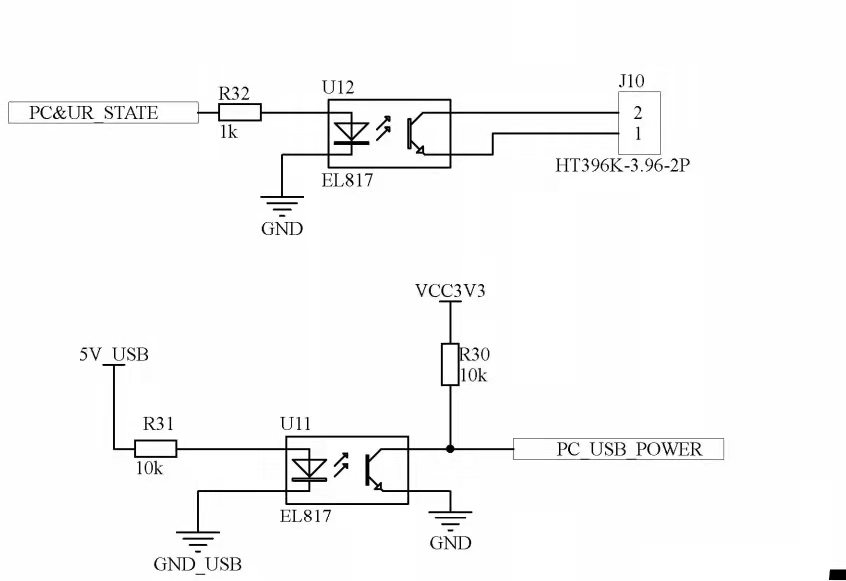


图3.8-1 PC和机械臂状态反馈电路图