

主要分享内容



超级电容系统

1. 发展方向展望
2. 系统总览
3. 峰值电流控制模式
4. 上管常开实现思路分享
5. 保护
6. 电容组

无线充电系统

1. 系统总览
2. 功率传输
3. 反向通讯

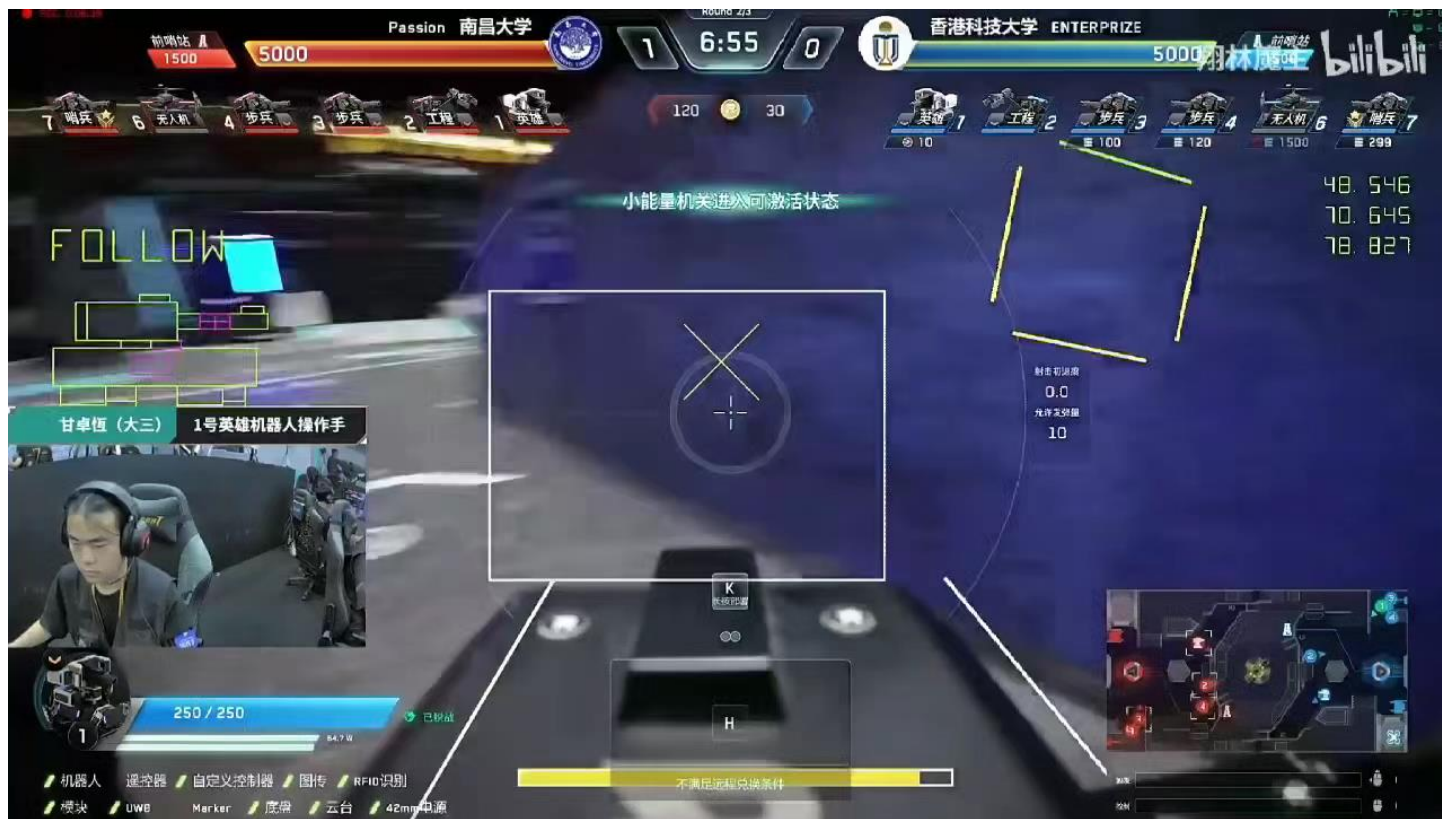
超级电容：发展方向展望



经过多年的发展，在各参赛队的努力与分享中，超级电容系统已经发展得较为成熟。

本赛季新引入的总能量限制，对超级电容系统提出了一些新的要求（例如：更高的效率），但对系统本身没有很大影响。

同时，超级电容作为UC赛场上的“标配”，对**稳定性**有着极高的要求，优先级高于对性能的极致追求。



超级电容：发展方向展望



本赛季的核心目标：**保下限，提上限**

保下限：硬件到代码的**全方位保护**、追求**极致的稳定性**

提上限：更快的响应速度、更高的效率、更小的体积...

例如我队23-24年开源的超级电容系统有着绝对的稳定性：

【RM2023-数控**超级电容**方案开源】香港科技大学-ENTERPRI...
本项目续作已开源，详见：【RM2024**超级电容**控制器完全开源】（史上最详细的开源！）



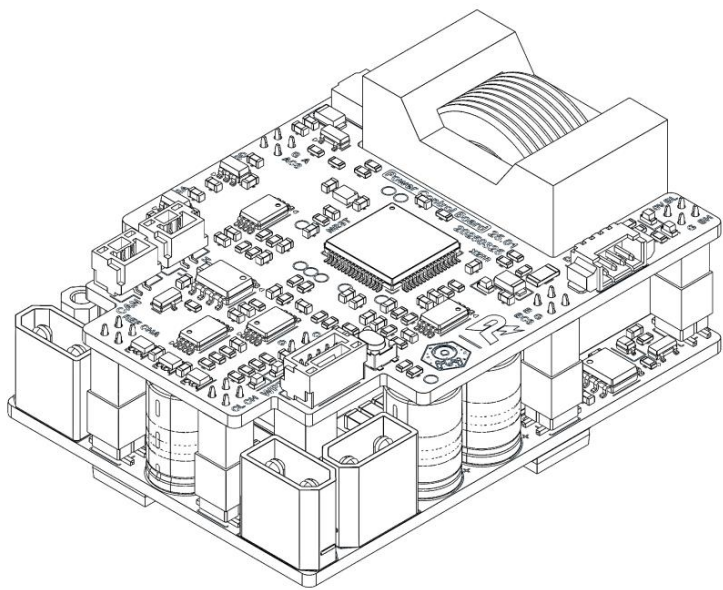
EthenJ 2024-09-23

【RM2024**超级电容**控制器完全开源】（史上最详细的开源！）...
大家好呀，RM2024的**超级电容**开源终于能发出来了这版**超级电容**就是ENTERPRISE战队在RM2024赛季使用的：稳定性极强，场上没出现过一次问...

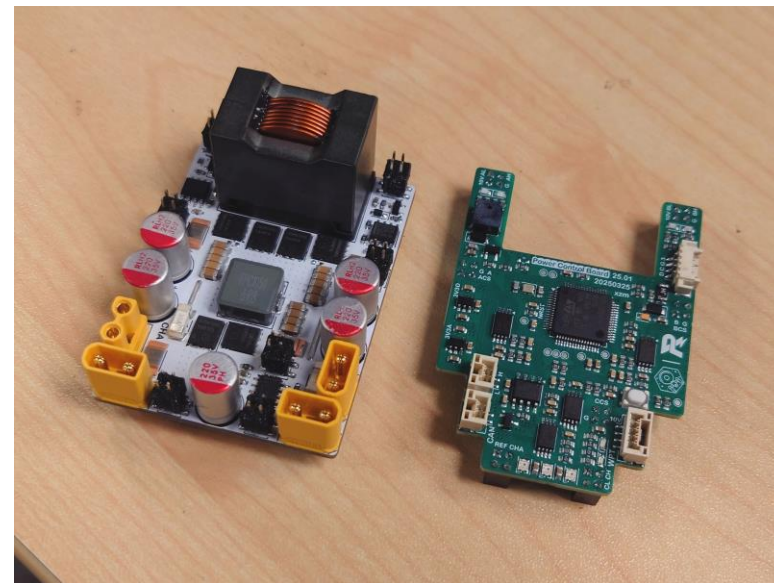


eeasee 2024-09-22

超级电容：系统总览



体积 60x44x30mm
集成无线充接收端降压
峰值电流控制模式
四管双向 Buck-Boost
250k开关 62.5k外环



4*XT30：裁判系统输入、底盘输出、电容组、无线充电输入
CAN接口、烧录接口、无线充电通讯接口

超级电容：控制需求



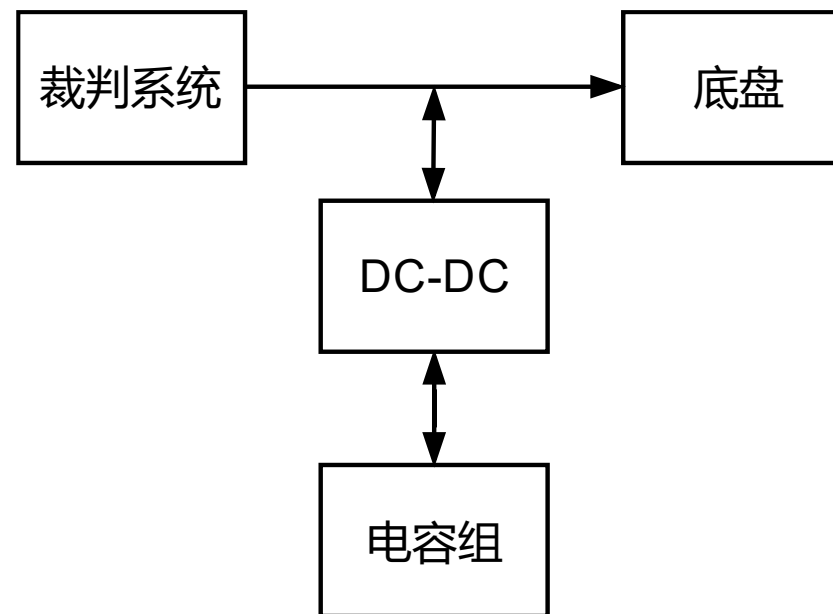
超级电容系统需要控制什么？

通过动态调整电容组的输入/输出功率来保证裁判系统端不超过功率上限

$$P_R = P_A + P_B$$

$$V_{BAT}I_R = V_{BAT}I_A + V_BI_B \rightarrow V_{BAT}(I_R - I_A) = V_BI_B$$

即需要通过控制超级电容系统支路的电流
(可以是DCDC输入/输出或电感电流)



超级电容：控制方式



数控方式：

采样实际电流电压 > 环路计算 > 占空比 > 作用于电容电流

优点：稳定可靠，硬件和软件实现都比较简单

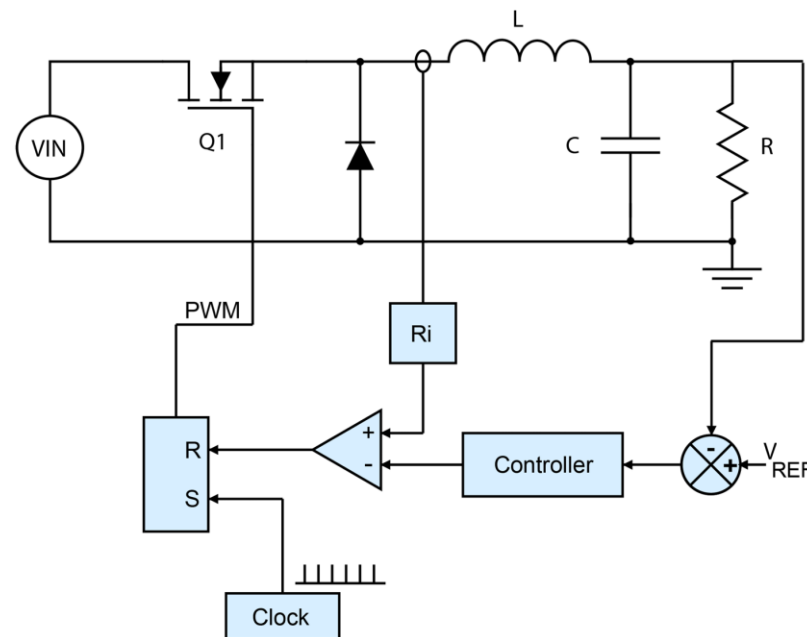
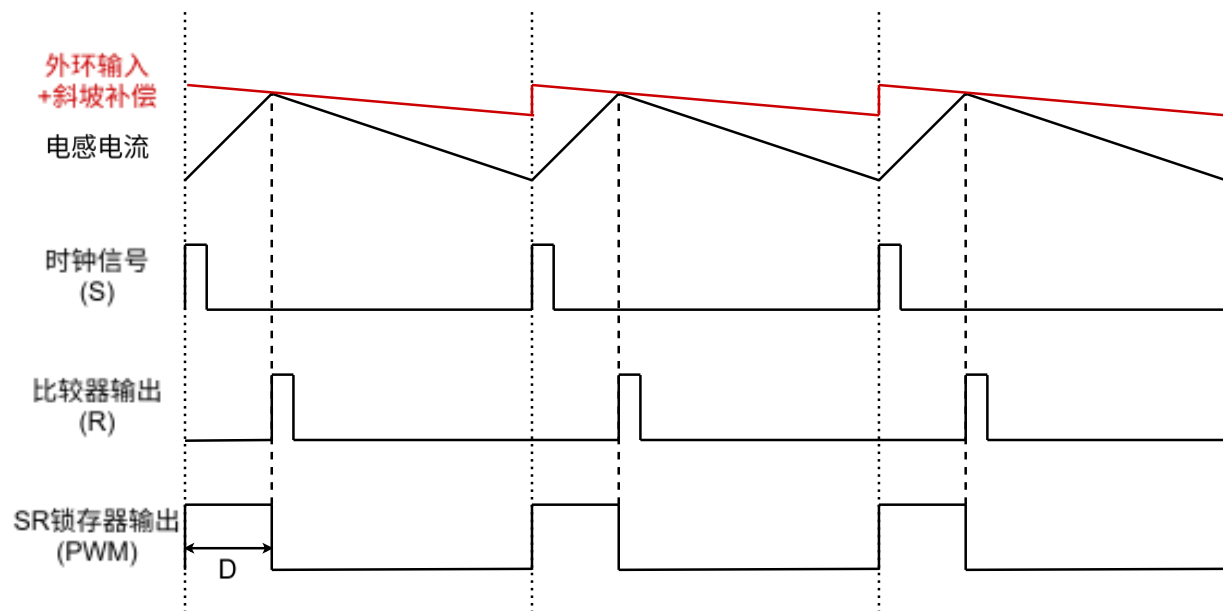
缺点：比较依赖计算资源，提升响应一般需要提升运算频率

峰值电流：通过模拟环路直接控制电感峰值电流，随后作用于电容电流

超级电容：峰值电流控制



以Buck转换器（CCM）为例，运行方式如下：



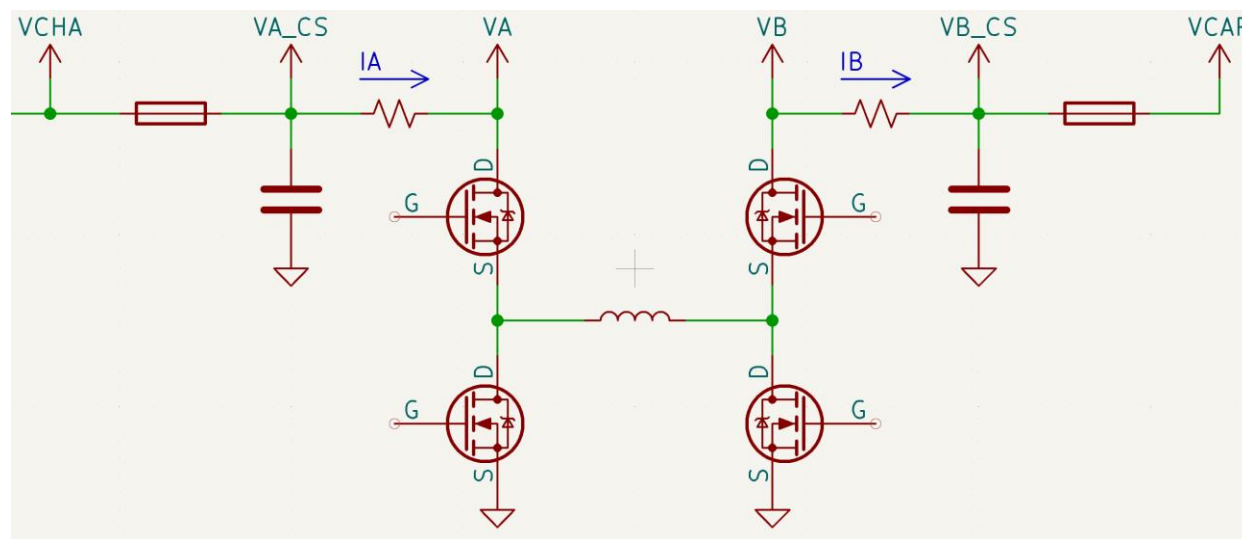
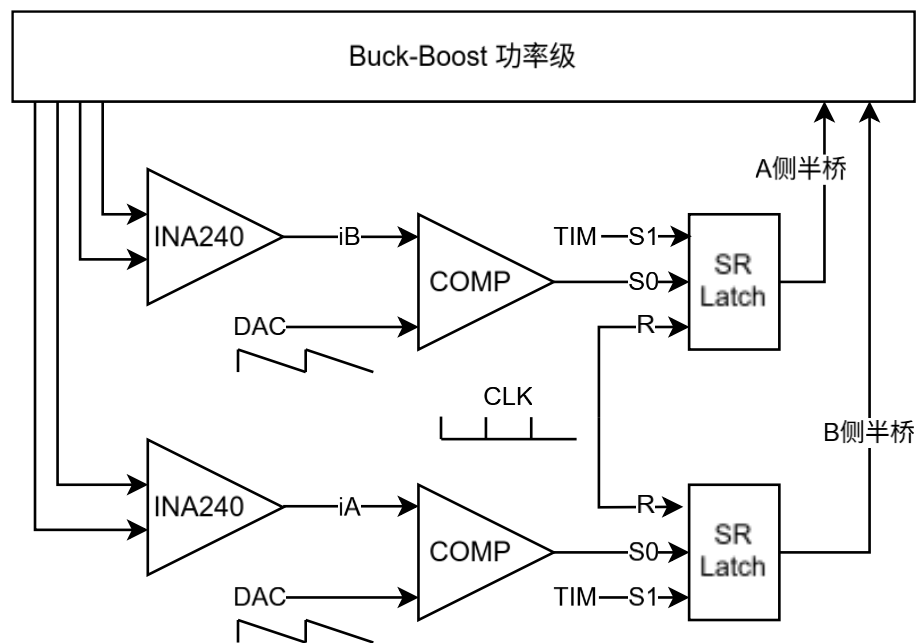
AN5497

Application note

超级电容：峰值电流控制



Buck-Boost实现：在电容后进行高位采样，上管打开时采样电流即为电感电流，选取一侧的电流波形对对侧进行峰值电流控制，本侧保持固定占空比。



超级电容：峰值电流控制

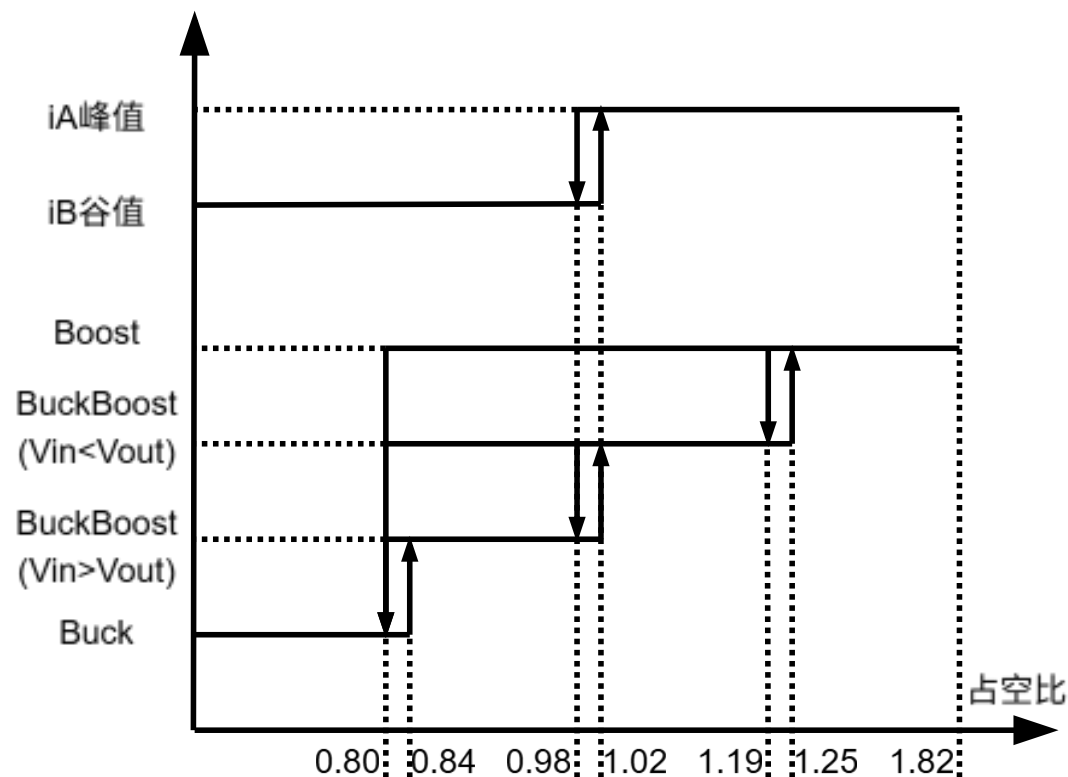


Buck-Boost实现：

为了实现升降压，需要切换两侧半桥的开关行为

为了尽量避免共模变化的影响，需要切换峰值电流控制源

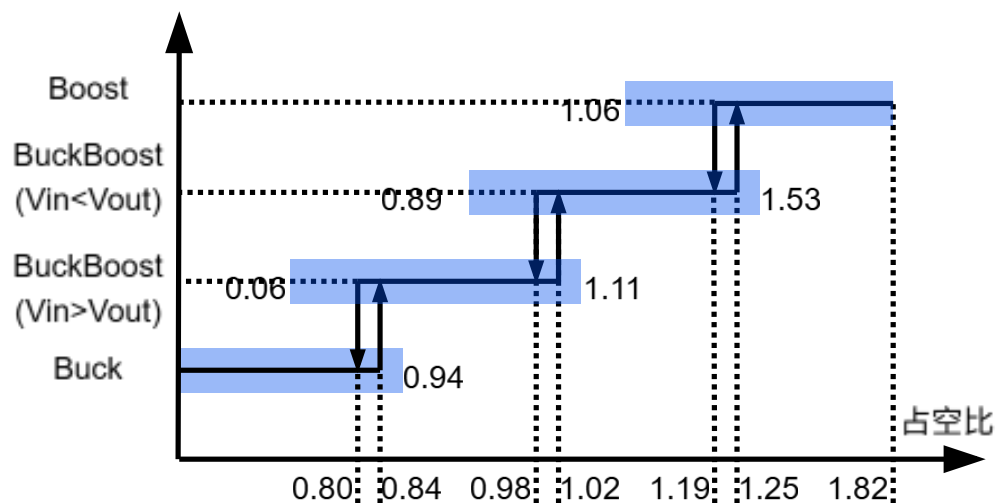
共有四种模式，通过检测到的占空比进行切换



超级电容：峰值电流控制



占空比检测通过采样两端电压实现，考虑到其有误差并且为了保持一定冗余，运行中每个模式实际允许的占空比更大

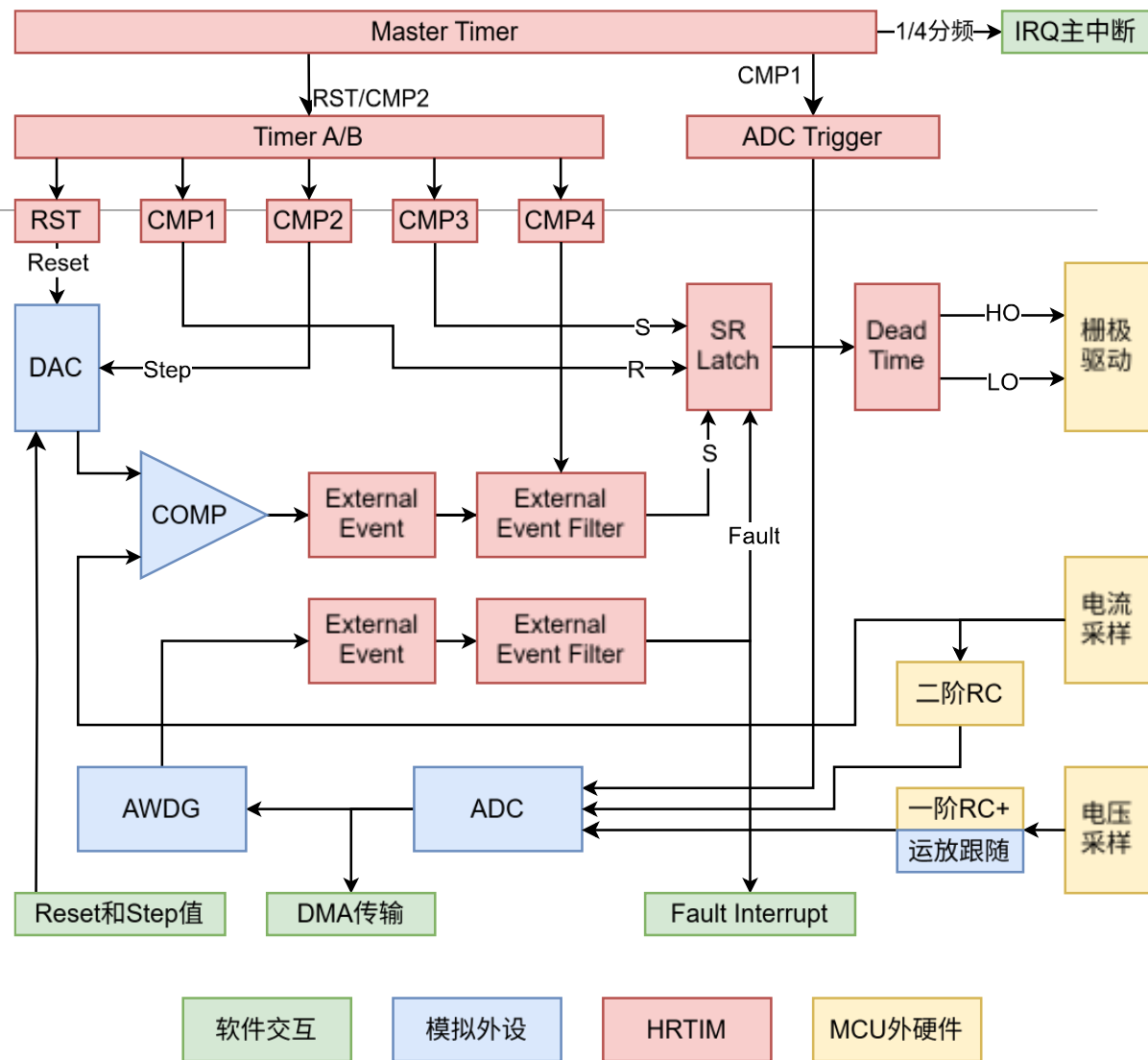


工作模式	A侧半桥 (底盘/裁判系统)	B侧半桥 (电容组)
Buck	受B侧峰值电流控制	常开
BuckBoost (Vin > Vout)	受B侧峰值电流控制	固定84%占空比
BuckBoost (Vin < Vout)	固定84%占空比	受A侧峰值电流控制
Boost	常开	受A侧峰值电流控制

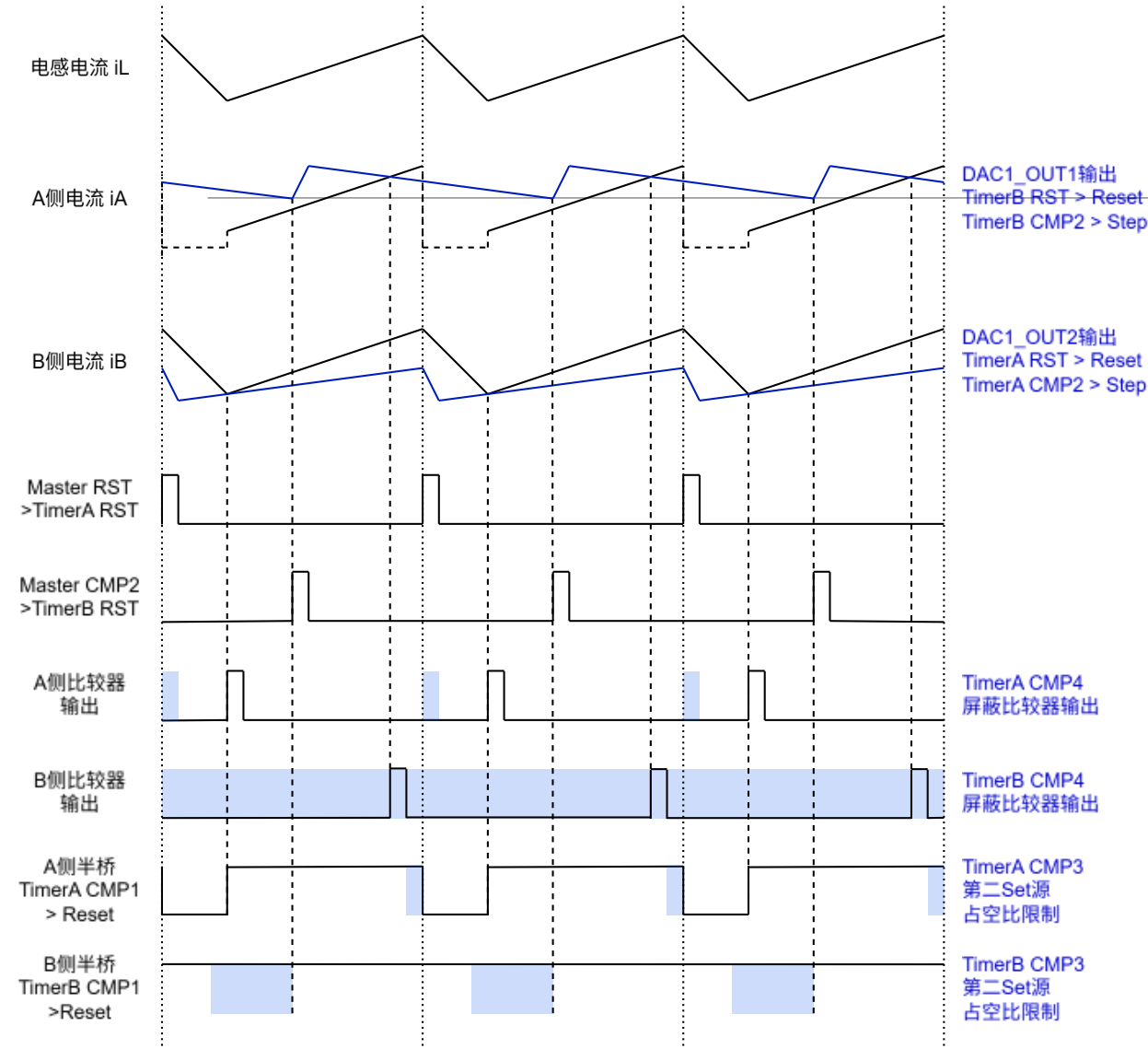
得益于STM32G474极为强大的模拟外设和内联矩阵，整个环路仅需INA240实现电流采样，剩余都在MCU内部实现。

INA240的输出为电感电流波形，直接连接到比较器，同时将其输出进行二阶滤波，得到平均电流（即两侧的输入输出电流）

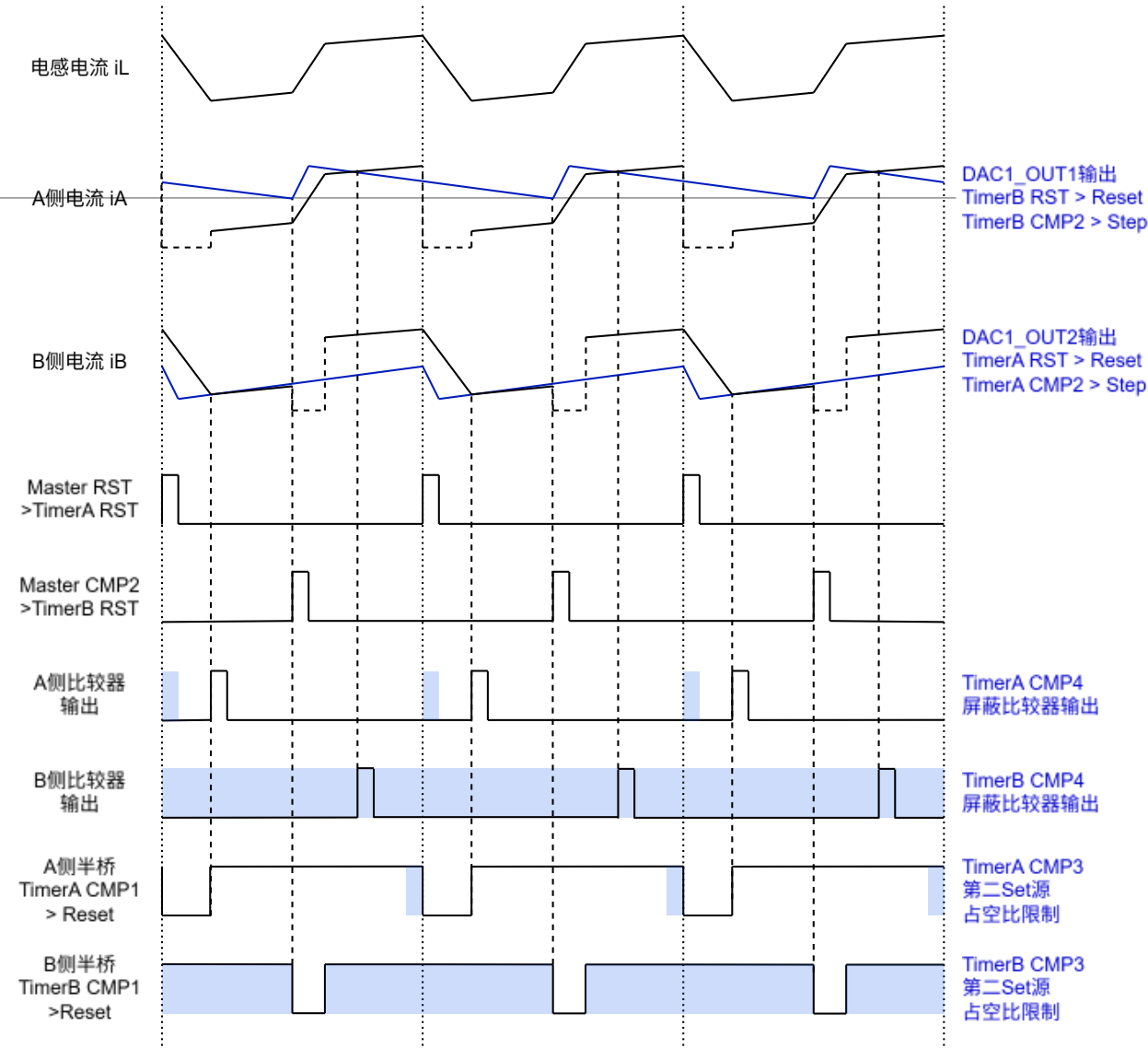
在ADC采样同时通过AWDG的硬件方式监测过流、过压并直接通过硬件通路触发关断



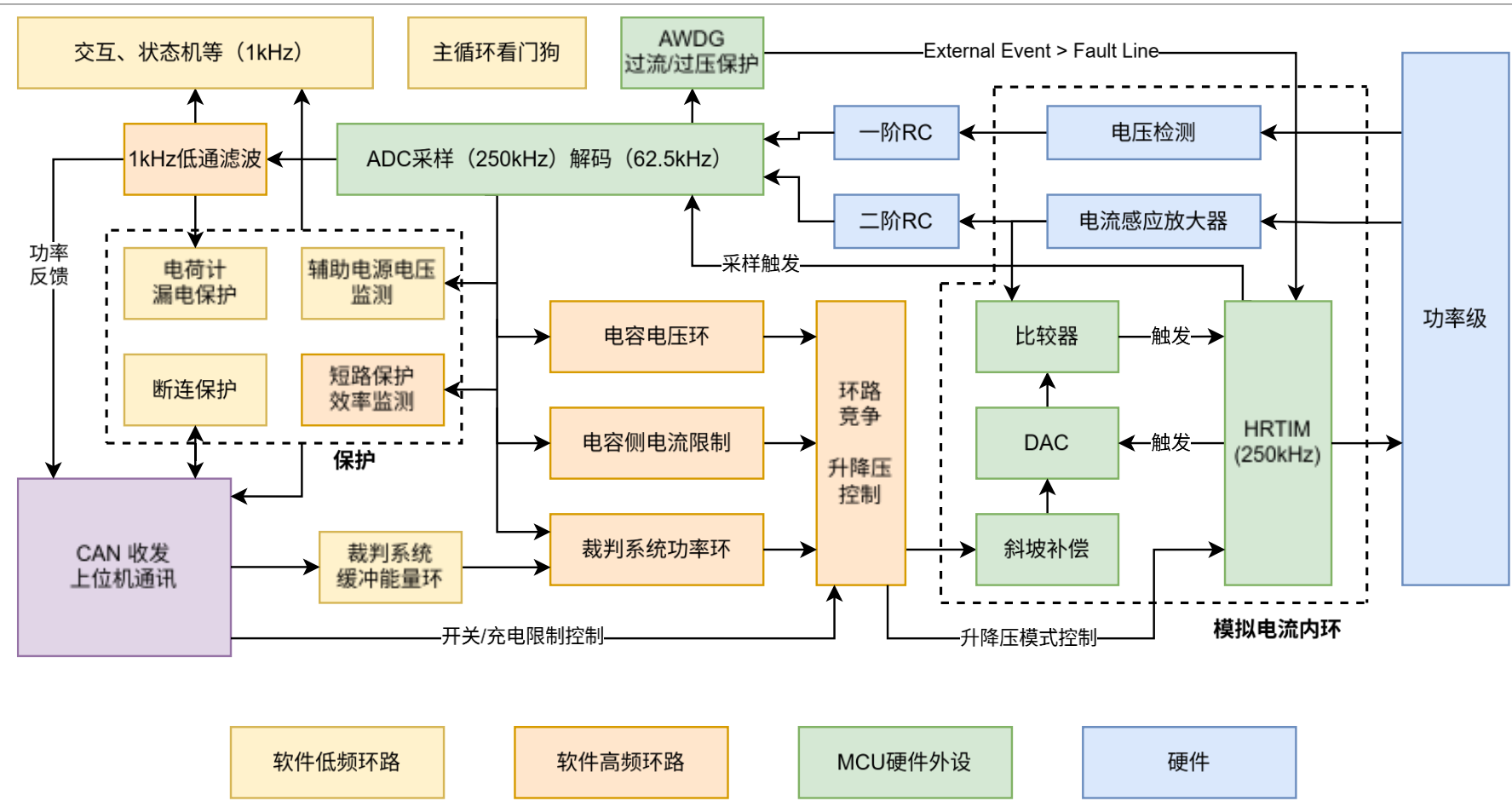
Buck模式 (iB谷值电流)



Buck-Boost ($V_{in} > V_{out}$) 模式 (iB谷值电流)



到此为止，我们已经获得了一个响应极快且无需计算资源的峰值电流内环，数字外环仅需给出电感峰值电流的目标值即可控制整个系统。



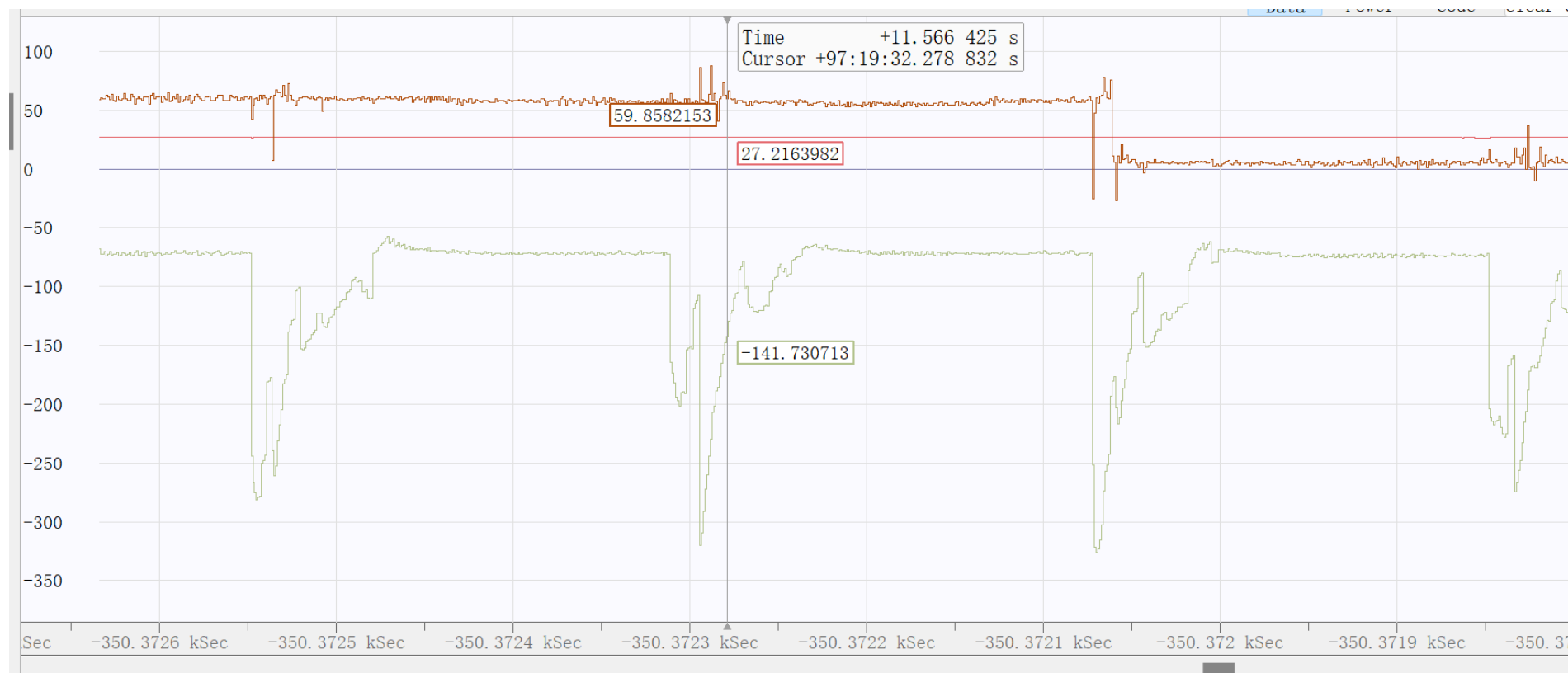
超级电容：电流环响应速度



在PID参数留有一定余量的情况下，输出电流的响应（经过500uF左右的滤波电容）可达20μs级别。测试中使用电流探头测量输出，每50ms改变一次目标值，阶跃1.5A左右：



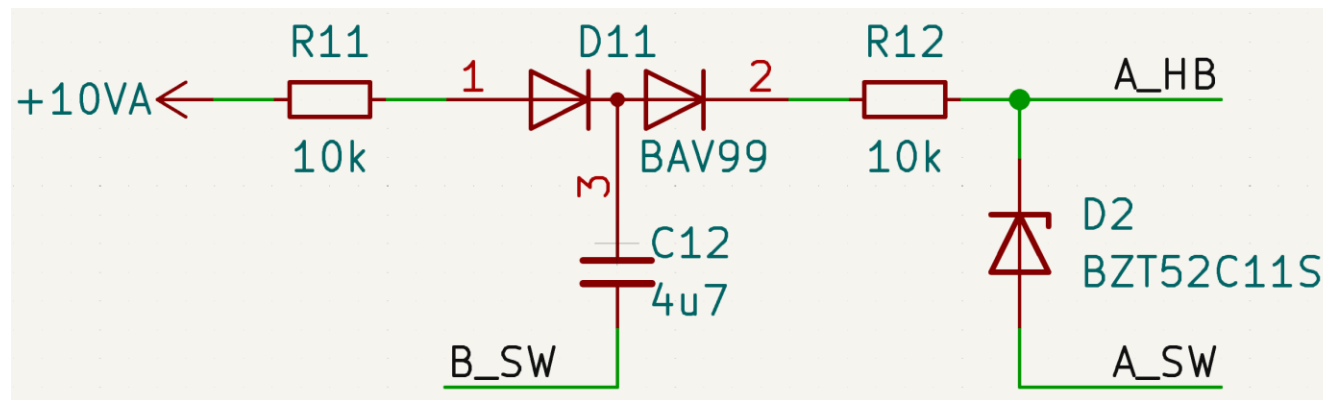
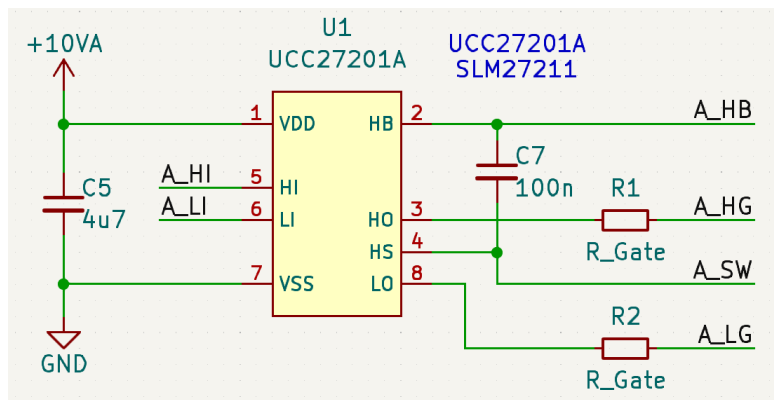
上曲线为裁判系统功率，下曲线为底盘功率（方便观察在绘图时加了-120W的偏置）。测试使用四个3508电机的底盘，加速并突然急停，如图可见裁判系统端功率很好地完成了闭环，并几乎将全部的刹车的反冲能量导入了电容中



超级电容：上管常开



由于MOS的GS间会漏电，所以要实现上管常开需要加入特殊的电路，我们过去使用了隔离电源，本赛季使用了撰写23年开源的学长提出的类似电荷泵的结构，仅需加入右图中的电路即可实现。这种方式较比隔离电源减小了静态功耗（工作时整个控制器仅1W左右）。



超级电容：保护



由于电容组中存有2000J能量，超级电容系统故障很可能导致比较严重的后果，所以本赛季超级电容也设计了全面且严格的保护措施。

过流/过压保护： ADC采样 > AWDG硬件触发关断

短路保护： 电流大于一定值且电压小于一定值，触发关断

电容组漏电/断连保护： 电压或电荷量达到一定阈值计算等效容量

CAN断连保护、电池低电量报警、效率检测、电容电流限制、错误处理与自恢复.....

超级电容：电容组



【RM2025-超小体积1980J电容组开源】香港科技大学ENTERPR...

今年队里的机器人都有缩小体积的需求，在一段时间的探索后发现3V的电容单体能量密度有很大提高，通过巧妙的排布可以将整个电容组+CM01缩入装甲板支架后，无需占...

硬件/机器人硬件 硬件/技术资料

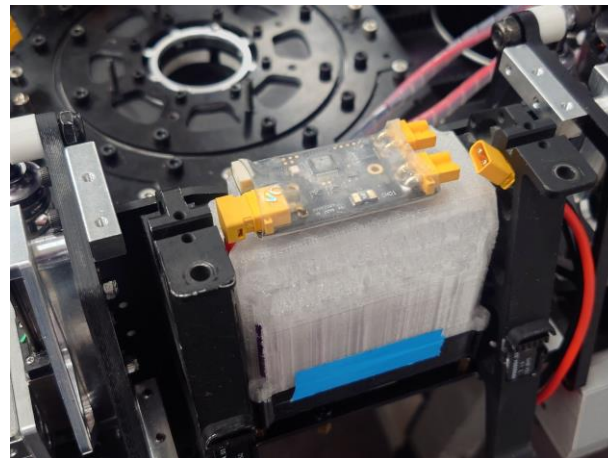
xzm 212 4 0 1天前



特点就是很小，可以完全塞到装甲板后面，能省很多空间，别的没啥特殊的

ROBOMASTER

3.7.5 根本放不下



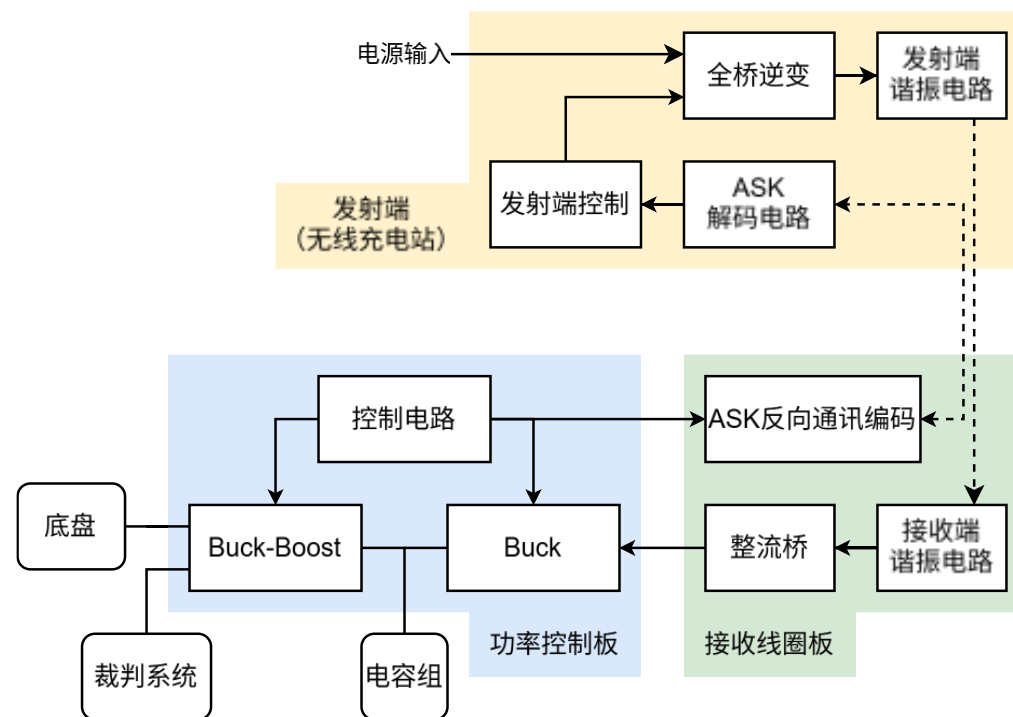
无线充电：系统概览



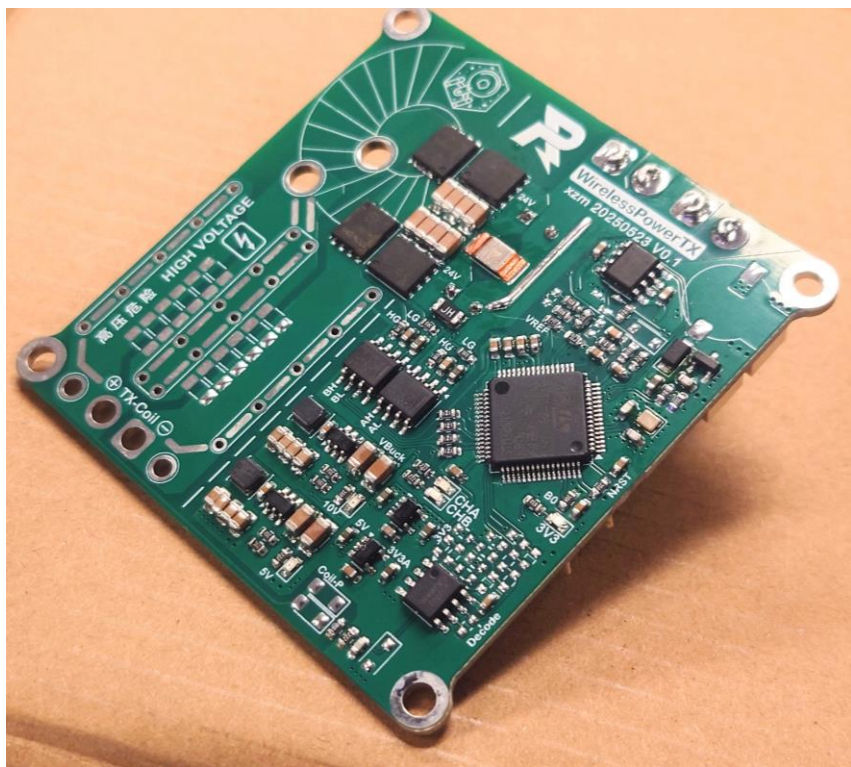
为了简化硬件设计和接线难度，将无线充电接收端的相关电路与超级电容系统融合，在同一块MCU上实现。

功率传输部分使用LCC-S拓扑，激励源选择全桥逆变，接收端的功率变换器选择Buck架构，将整流桥输出降压输入到超级电容中。

无线充电握手部分，选择通过模仿较为成熟的Qi协议的方法，通过FSK和ASK实现。



无线充电：发射端



主要电路：

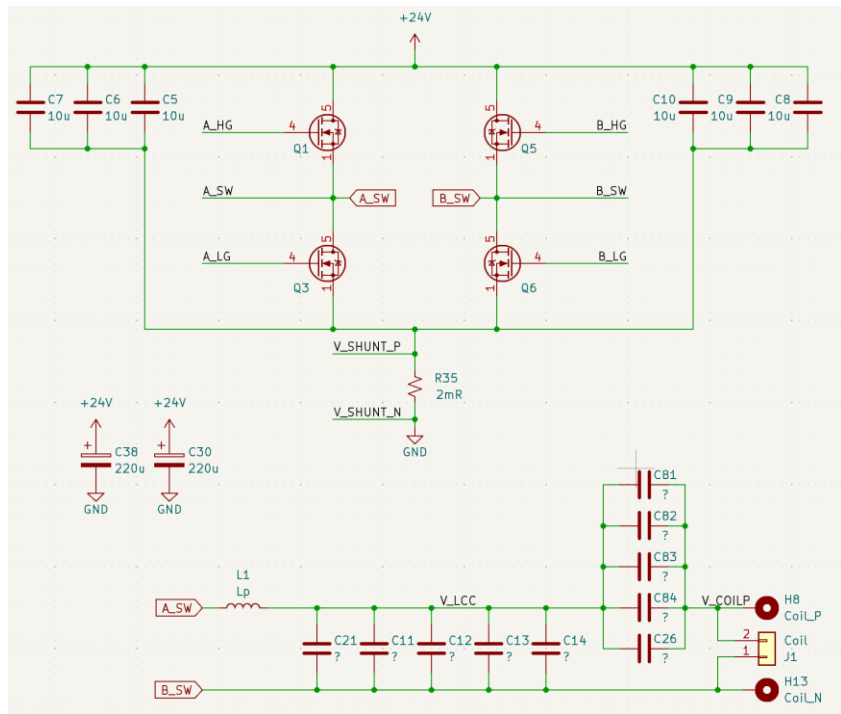
- 功率级（全桥逆变）
- 谐振电路
- 采样与反馈电路
- 辅助供电
- ASK解码

MCU选用与功率控制板上相同的STM32G474RBT3，输入为24V，并预留有24V输出接口与CAN通讯电路（如果对位机构需要电机）

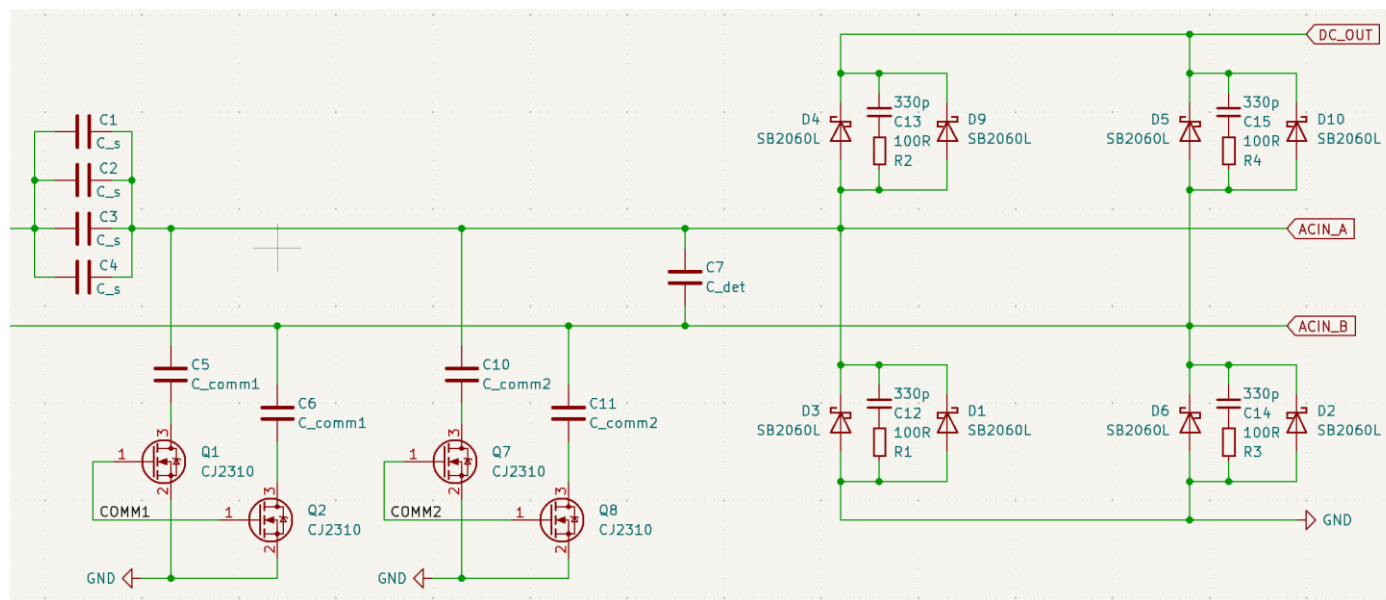
无线充电：功率级



发射端：全桥逆变+LCC谐振



接收端：S谐振+全桥整流

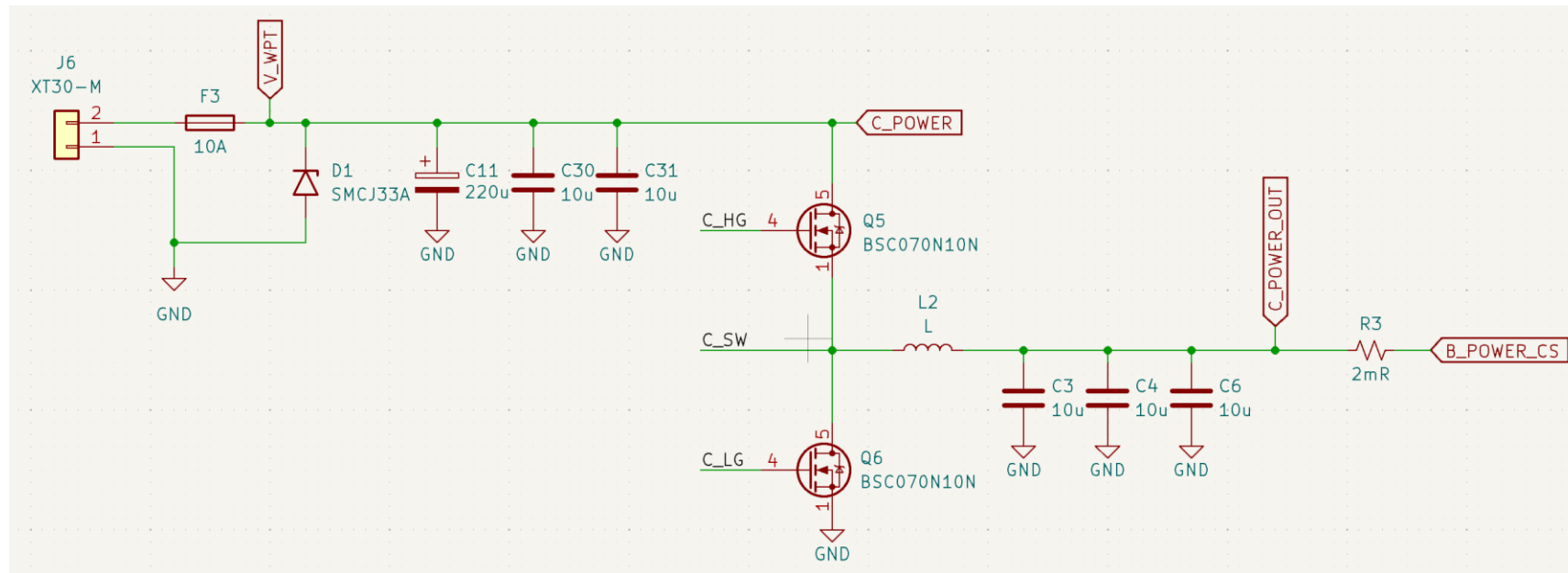


无线充电：接收端（功控板部分）



在全桥整流输出后，通过数控Buck电路将其降压至电容组电压（最大28.8V）。

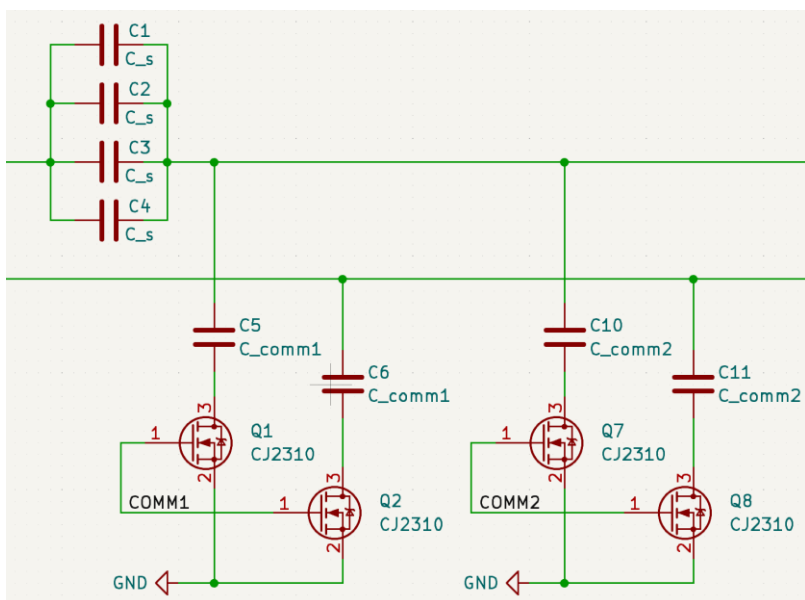
由于有供电电压30V的限制，需要通过一些特殊方式实现接近100%的占空比



无线充电： 反向通讯

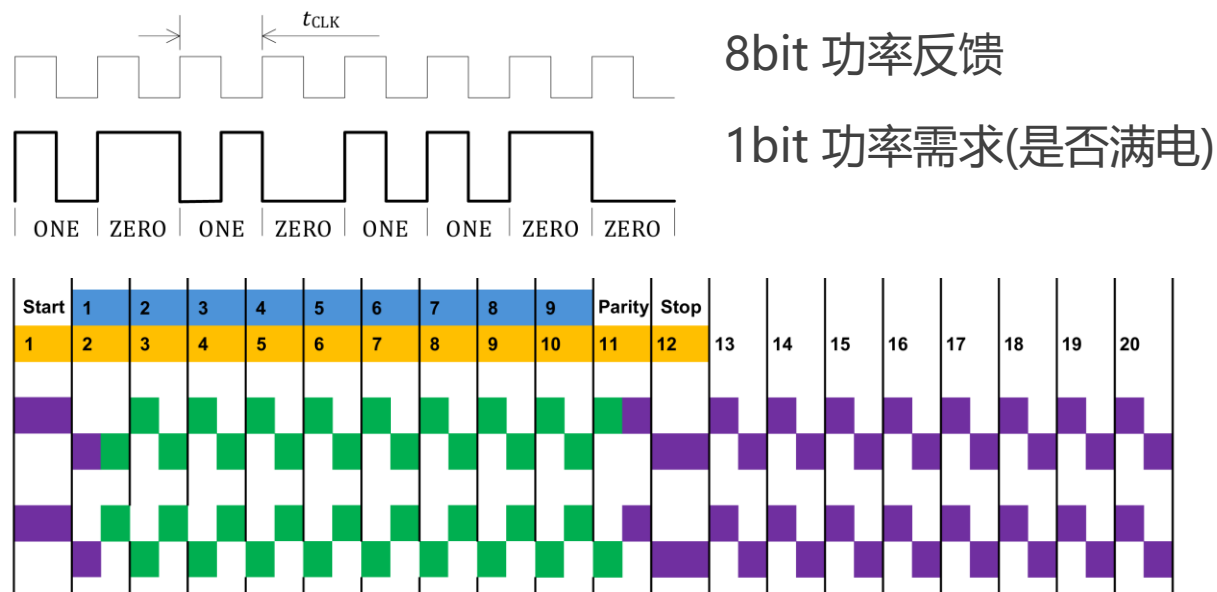


功率接收端：两对通讯电容
(应对不同功率下的幅值变化)



接收端需要以尽可能快的频率进行功率反馈。以20bit为周期（100Hz频率），12bit包长发送反馈数据。

Figure 3. Example of a differential bi-phase encoding scheme

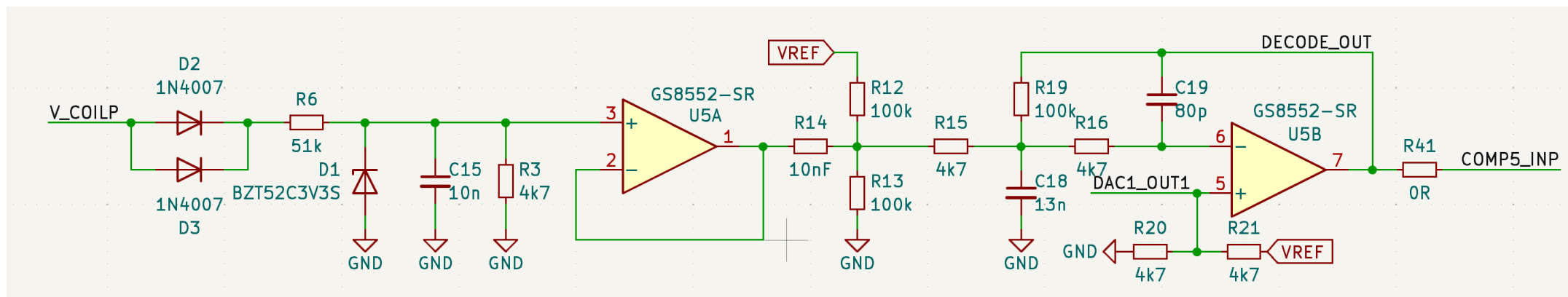
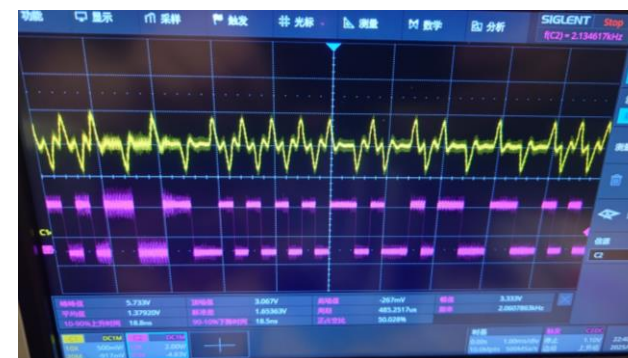


无线充电：反向通讯



功率发射端解码电路：

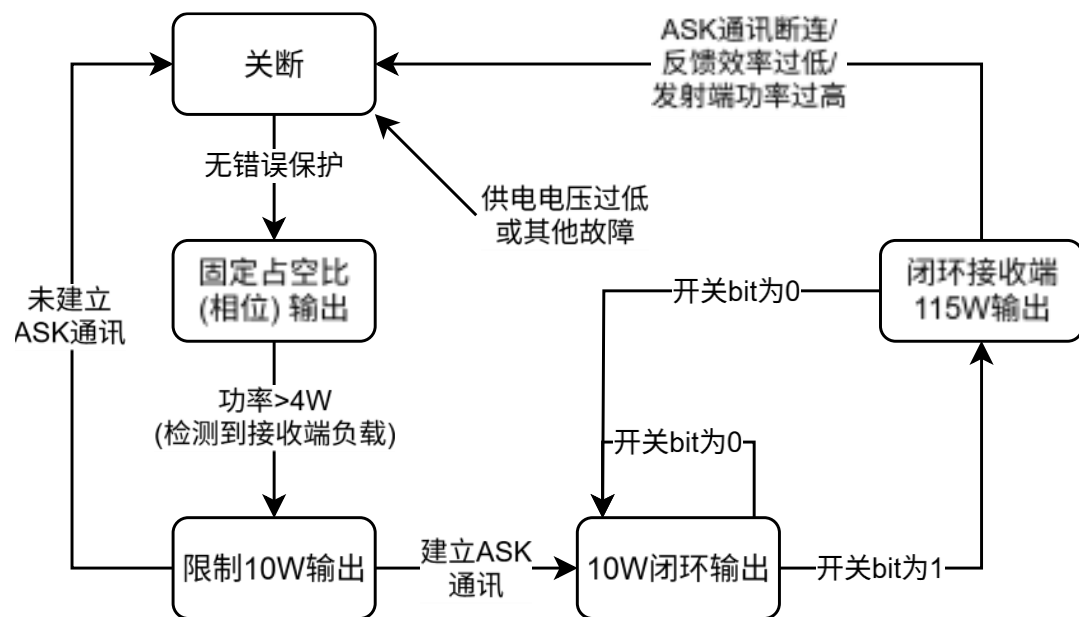
峰值检测 > 电压跟随 > 高通滤波 >
二阶低通滤波 > ADC解码波形 >
解码数据包



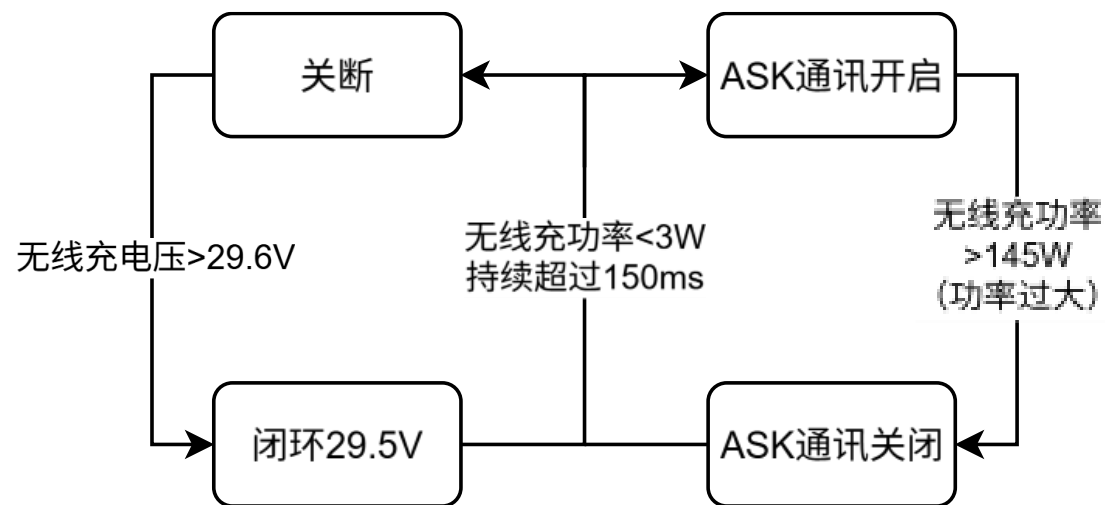
无线充电：状态机



功率发射端状态机



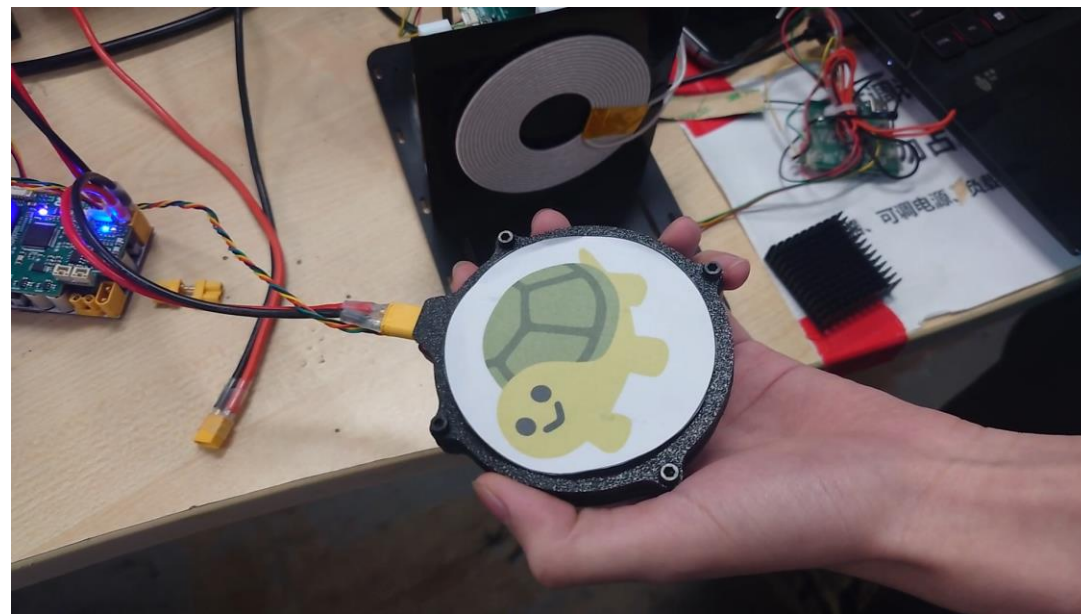
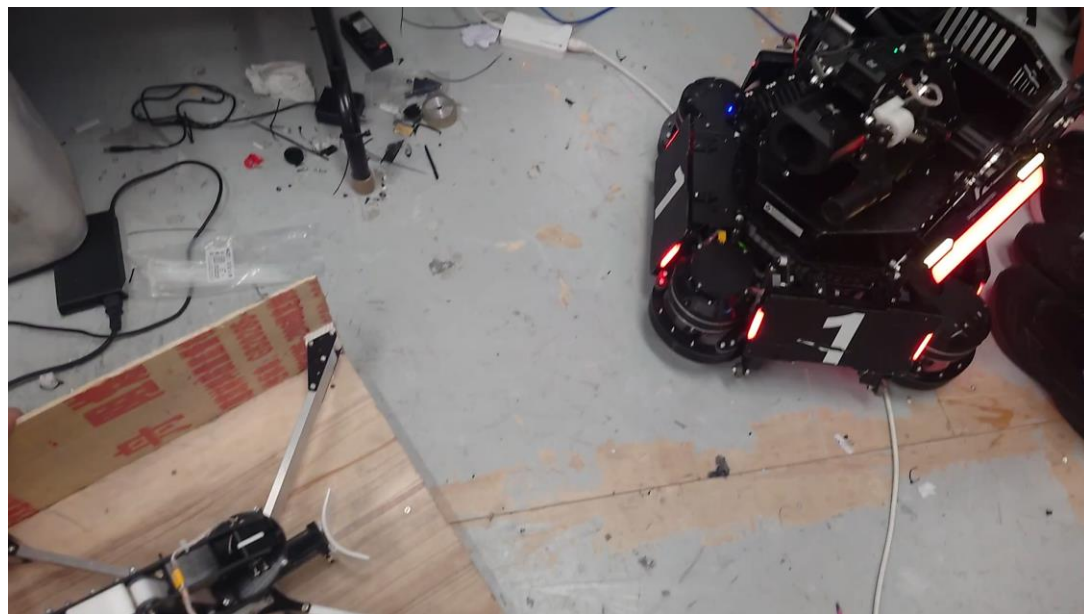
功率接收端状态机



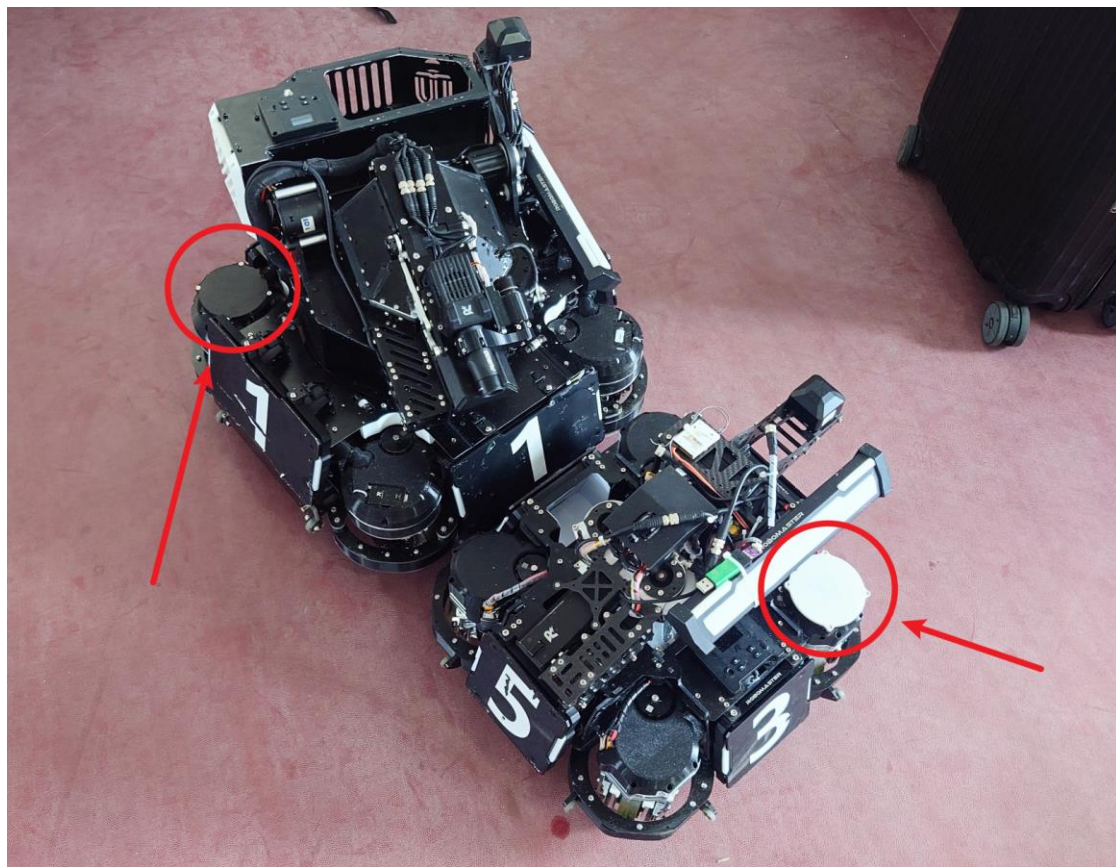
无线充电效果展示



【复活赛寄了，可以发了 之无线充电】



无线充电安装



致谢



感谢 ENTERPRIZE 战队硬件组学长 JYC RY OFR 为硬件部门打下的坚实基础，并在本赛季为超级电容与无线充电系统的设计调试中提供了巨大帮助

感谢 ENTERPRIZE 战队硬件组队员 ZZY 承担了大部分构建、调试发射端代码的工作

感谢吉林大学、中国石油大学（华东）、华南理工大学在交流中分享的宝贵经验

感谢 RoboMaster 为青年工程师提供的平台

ENTERPRIZE战队 25赛季开源预告



【RM2025-无线充电站机械结构思路分享】香港科技大学ENTERPR...

由于本赛季我们队机械人手严重不足，无线充电站作的机械结构也只能自己画了。由于我是硬件，之前也只会一点点Solidworks，机械设计和装配都仅仅是能用的水平，所...

机械/其他 机械/场地道具

xzm 242 7 1 1天前



【RM2025-超小体积1980J电容组开源】香港科技大学ENTERPR...

今年队里的机器人都有缩小体积的需求，在一段时间的探索后发现3V的电容单体能量密度有很大提高，通过巧妙的排布可以将整个电容组+CM01缩入装甲板支架后，无需占...

硬件/机器人硬件 硬件/技术资料

xzm 267 5 0 2天前

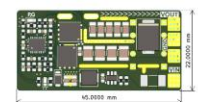


【RM2025-无人机48V转24V模块开源】香港科技大学ENTERPRI...

本开源主要是对哈工深开源的48转24V模块和LM5145评估板的拙劣模仿，主要变化是加入了VCC辅助电源并缩小了体积。欢迎加入开源交流QQ群：581184202 设计人联系...

硬件/机器人硬件 硬件/技术资料

xzm 156 1 0 2天前



【RM2025-更适合RM宝宝体质的交换机开源】香港科技大学ENT...

硬件/机器人硬件 硬件/实用工具 硬件/技术资料

xzm 471 4 1 2天前



【RM2025-地表最小 JLink 开源】香港科技大学 ENTERPRIZE ...

尺寸无敌，地表最小 JLink-OB，尺寸仅为 20x12x5mm。本赛季小批量做了一批，使用体验不错，非常优雅，稳定性好，固定在车上能较好地解决 JLink 断联的情况。

硬件/实用工具 嵌入式/实用工具

宝期 241 2 0 2天前



硬件：

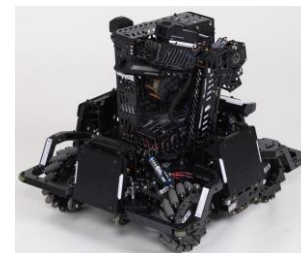
- 超级电容与无线充电系统
- G4主控板V2、工程主控板
- 无线烧录器

算法：

- 局均1600s最高1900s 单目视觉雷达站算法

机械：

- 5.8秒4级矿 舵轮机械臂工程机器人
- 自制3508气泵+吸矿状态检测滤波算法
- 中供弹过洞舵轮英雄+42mm中心供弹
- 串联腿步兵开源
- CNC舵轮方案、低成本3508减速箱
- 全直驱过洞麦轮步兵机器人



非常感谢各位对香港科技大学 ENTERPRIZE 战队开源项目的关注与支持。若您在机器人设计过程中受益于我们的开源，恳请在开源引用中注明我们的项目来源。大家的支持是我们不断前行的动力。让我们携手共建一个鼓励创新、协作与超越的 RM 开源生态。

