



## 一种根据电容容量反馈的底盘功率软件限制方案



**Team GMaster**

---

作者

林文浩

邮箱

[sgwlin4@liverpool.ac.uk](mailto:sgwlin4@liverpool.ac.uk)

QQ

1225103523

---

# 目录

<b>1</b>	<b>简介</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>需求分析</b>	<b>3</b>
2.1	主动开关电容 . . . . .	3
2.2	稳定电容电量 . . . . .	3
2.3	保证底盘永远受控 . . . . .	3
<b>3</b>	<b>实现流程</b>	<b>4</b>
3.1	缓冲能量闭环 . . . . .	4
3.2	电容电量闭环 . . . . .	4
3.3	动态电容目标值设定 . . . . .	4
<b>4</b>	<b>调试流程</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>实际效果</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>总结</b>	<b>6</b>

## 1 简介

功率控制作为 RM 长久以来的控制难题，近年来随着超级电容方案的不断迭代，电控对于底盘功率控制的需求在不断降低。本赛季为我们队第一次大规模使用超级电容模组，在底盘功率控制配合超级电容上使用上遇到了不少问题，同时发现目前论坛上并没有专门的应用超级电容的底盘功率控制开源方案。于是我们将本赛季摸索出的一套简单实用的方案开源出来，以供大家交流学习。

本赛季我们队伍共使用两种不同的超电拓扑结构，分为电容与底盘并联和电容独立于底盘电路两种。它们都只能限制裁判系统输入功率的大小，无法从硬件上控制底盘电机的功率大小。针对这种硬件架构，我们研发出一套同时适用不同拓扑结构的串级 PID 的底盘功率控制算法，进行底盘输入功率的合理分配和底盘功率控制。该算法通过将电容容量稳定在任意大小，以实现主动的开启或关闭超级电容输出的能力，同时在任何电容电量下都可以保证底盘裁判系统输出功率优先响应操作手指令。无需读取底盘实际输出功率，无需配套其他电流计，部署简单，应用较广。

## 2 需求分析

### 2.1 主动开关电容

主动开关电容，可以让操作手拥有更多的战术选择，可以把关键的电容能量在小陀螺旋转的时候释放，提高底盘旋转速度。或者在需要撤退，或者赶路的时候释放电容能量，提升移动速度。

### 2.2 稳定电容电量

对于电容与底盘并联的超级电容拓扑结构，若不加以限制的使用底盘功率，会造成整个底盘回路电压下降至 12V 以下，导致 C620 电调关机。对于电容独立于底盘的拓扑结构，若将电容电量完全耗尽，会造成底盘输入功率无法限制，导致底盘超功率等问题。因此我们需要稳定电容电量在一个合理的范围之内。

### 2.3 底盘永远受控

该算法应当保证在操作手发出移动指令的时候，底盘至少能够最大限度的响应操作手命令，避免出现算法大幅度限制底盘功率，导致底盘失控的情况。即永远保证底盘可以获得大部分的输入功率用于响应操作手指令。

## 3 实现流程

### 3.1 缓冲能量闭环

根据裁判系统反馈数据的功率上限和当前缓冲能量，计算出当前最大底盘输入功率，发送给超级电容控制板，将缓冲能量稳定在 20 焦耳。该闭环可以防止长时间高功率输入的控制误差对缓冲能量造成的连续消耗，从而避免超功率。同时可以迅速使用飞坡增益的高额缓冲能量，以快速恢复电容电量。

### 3.2 电容电量闭环

根据超级电容原理

$$P_{in} = P_{cap} + P_{chassis} \quad (1)$$

在输入功率不变的情况下，可以通过主动控制底盘电机功率输出，来改变电容的充放功率。因此我们通过限制四个底盘电机的电调发送电流值，来限制底盘电机功率输出，最终实现电容容量控制。

为了提高该环的响应速度，我们让底盘电机输出功率在底盘输入功率上限的基础上进行浮动。根据测试结果，在计算初始浮动值时，我们简单的认为 CAN 通信发送值  $N$  与底盘功率有如下关系。

$$N_{cmd} = P_{motor} \times 250 \quad (2)$$

该环反馈值为当前电容容量或电容电压，设置值为目标电容容量或电容电压，输出值为 CAN 通信发送值的变化量，通过 PI 控制将电容容量稳定在目标值。最终，我们得到了缩放系数  $k$

$$k = \frac{P_{in} \times 250 - PID_{out}}{\sum N_{cmd}} \quad (3)$$

注：电机输出减小，电容容量变大，公式中注意 PID 输出符号为负。

给电机的最终指令为  $N'_{cmd} = kN_{cmd}$ ，在  $k$  大于 1 时不进行缩放。

该环实现效果为，可以将电容容量稳定在任意大小，当设定值从高容量，设定为低容量时，即为开启超级电容，电容额外放电，容量变小并最终稳定；当设定值从低容量设定为高容量时，电容充电，容量增大并最终稳定。

### 3.3 动态电容目标值设定

分区赛使用电容与底盘并联的拓扑结构，将电容目标值设定为两个固定值，在开启电容时，电容电压设定在 15V，关闭时电容电压设定为电池电压-1V。但是简单的两个目标值会出现：当操作手在低电容容量选择关闭超级电容时，该算法会大幅度限制底盘功率以将电容容量恢复至较高状态。此时操作手几乎会失去对于底盘的控制。

分区赛后我们使用动态的电容目标值以解决该问题。在开启电容时仍使用固定的低容量目标值。

在关闭电容时，当操作手未发送移动指令，即未按下 WASD，小陀螺按键或主动刹车按键，将选择一个高电容容量为目标电压值。

当操作手发送移动指令，将选择当前电容容量为目标电容值并保持该目标大小，直到操作手停止发送指令。由于积分项响应速度较慢，不能每次控制循环都选择一个新的目标值，应该在连续运动时保持相同目标值。此刻电容将停止充电和放电，底盘功率将优先用于响应操作手指令。

当操作手停止发送控制指令，目标值将恢复为高容量。

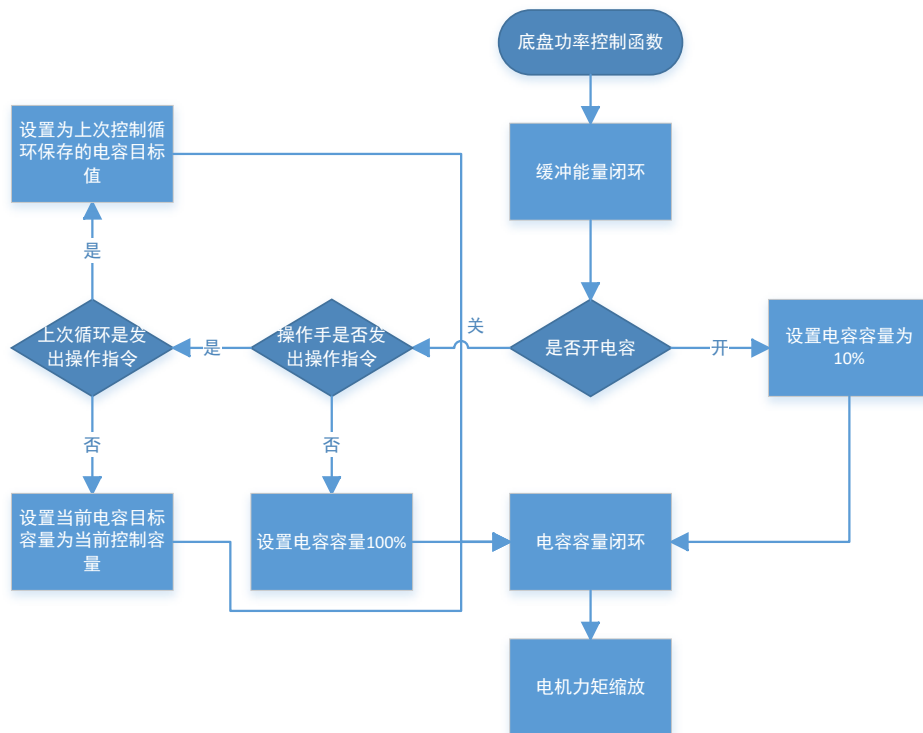


图 1: 完整功率控制流程

动态电容目标值将保证在操作手发出移动指令时，底盘功率不会因为电容充电而被严重限制。同时，因为没有指令时电容容量为高容量值，该算法还可以实现一个动态的被动刹车功率控制：低电容容量时刹车功率小，高电容容量时刹车功率高。

由于基础功率浮动值随电池电压，底盘回路电压等其他因素影响较大，目前该算法主要依靠积分项进行稳定的功率限制。对于电容与底盘并联的拓扑结构，在不同的底盘电压下，电机的输出功率与指令值的关系会有所不同。

为了保证开电容情况下底盘速度能有所提升，同时保证运动的精确性，还需要根据电容的开关状态选择不同的目标速度。目前只是简单的两档速度，未来有一定的优化空间。

## 4 调试流程

调试方式上，因为底盘功率控制的各个变量变化速度较慢，没有快速波动，因此我们直接使用无线 CMISS-DAP，搭配 Keil 远程动态查看修改变量，没有将变量绘制成曲线。目前绘制无线串口曲线的软件较少，且使用起来较为麻烦，无法动态修改参数，因此没用使用无线串口查看变量。

对于缓冲能量环，根据超级电容响应速度和控制精度的不同，选择合适的 PID 参数和控制目标值。我们选择的 20 焦耳作为目标值，P 控制，最大输出 50，理论上可以在 5 内消耗全部飞坡缓冲能量增益。

对于电容电量环，由于公式 2 过于简化底盘功率与发送指令的关系，因此该控制环主要依靠积分项作为限制的主要手段，使用 PI 控制，比例项可加快收敛速度。该参数可能会导致电容电量在目标值处出现波动，但是毕竟是电容电量，我们可以接受。还要注意的，这里的电容电量环不光决定了限制的能力，还决定了开启电容时放电的速度，通过更改参数可以调整超级电容的最大放电速度。

若在关闭电容，底盘持续输出，电容容量稳定时，发现积分项稳定在较大的正值，可以适当减少公式 2 的系数，反之亦然。

## 5 实际效果

由于没有使用无线的串口曲线绘制工具，这里没有功率限制的实际效果用以展示。但是实测上下坡，起伏路段，飞坡，长时间长距离行驶，电容容量均可以保持在我们目标值的范围之内，且不会出现低电容容量，底盘失控的情况。并可以实现主动开关电容的功能。

还是由于电机耗电模型的不准确问题，我们发现对于不同的功率输入，配套需要不同的电容电量环 PID 参数，否则会出现 PID 性能不足，无法限制底盘功率的问题，或者出现 PID 性能过强，导致底盘无力的情况出现。解决方法，可以根据不同的功率输出，选择不同的 PID 参数；亦或者直接将电容电量环的最大输出值设置为初始浮动值的百分之 30。

但是实际上场，我们所选择的底盘加点已经已经预先得知，可以根据实际需要仅调试出一套适用于实际加点的 PID 参数即可。比如超级电容优秀的队伍一般会选择为血量优先。但是这样会丧失一定的战术选择性。

## 6 总结

本报告提出了一种通过电容电量反馈，配合动态电容电量目标值的一种软件底盘功率限制方案。不需要复杂的硬件系统，部署简单，应用广泛。在未来，还可以通过更加精确的电机功率模型来减少对积分项的依赖，以提高响应速度。还可以将底盘目标速度进行动态的调整，减少对于被动限制的依赖，间接提高响应速度，同时保证底盘精确的移动。