

# 底盘功率控制

## 一些资料

### 铁损耗

铁损耗随转子速度线性变化，与定子电流无关。这可以通过将其与经验损失模型相关联来理解。可以使用 Steinmetz 方程计算铁损耗，该方程由下式给出  $W_i = K_h B_m^a f$ ，其中  $W_i$  是单位体积的铁损， $B_m$  是最大磁通密度， $f$  是磁通密度变化的频率。

这个表达式表明铁损耗随频率线性变化，而频率又与转子速度成正比。此外，铁中的磁通密度主要由磁铁决定。定子电流仅具有边际效应。因此，铁损耗与转子速度呈线性关系，几乎不依赖于定子电流。

### 铜损耗

另一方面，我们观察到铜损耗随定子电流呈二次方变化。当查看由下式给出的欧姆损耗公式时，可以很容易地理解这种二次变化  $W_c = I^2 R_c$ ，其中  $I$  是线圈电流， $R_c$  是线圈电阻。在这种情况下，由于使用了均匀多匝线圈特征，线圈中的集肤效应和邻近效应被忽略了——当导线相对于集肤深度较细时，这一假设是有效的——因此， $R_c$  的有效值不依赖于转子速度。

广工久远的开源资料：

## 软件底盘功率限制

软件功率限制通过限制电机输出力矩来控制底盘功率，以达到在底盘剧烈运动、实际功率即将超过给定的最大功率时，将实际功率限制到最大功率附近以下的目的。

理论  
实现

## 理论

电机的输出功率为：

$$P_{out} = \tau \omega \tag{1}$$

电机的输入功率为输出功率和损失功率的和，可表示为：

$$P_{in} = P_{out} + k_1 \tau^2 + k_2 \omega^2 \tag{2}$$

其中  $k_1$  和  $k_2$  为常数。

## 实现

我们根据(2)式来实现功率限制。已知：最大功率  $P_{max}$ 、各电机当前转速  $\omega_{real}$  和电机 PID 计算出来的原始力矩指令  $\tau_{cmd}$ 。当  $\tau_{cmd}$  将使  $P_{in}$  高于  $P_{max}$  时，设有一缩放系数  $k$ ，令  $\tau'_{cmd} = k \tau_{cmd}$ ，使得  $\tau'_{cmd}$  满足：

$$P_{max} = \sum |\omega_{real} \tau_{cmd}| + k_1 \sum \tau_{cmd}^2 + k_2 \sum \omega_{real}^2$$

则可由上式计算出  $k$  的值：

$$k = \frac{-\sum |\omega_{real} \tau_{cmd}| + \sqrt{(\sum |\omega_{real} \tau_{cmd}|)^2 - 4k_1(\sum \tau_{cmd}^2)(k_2 \sum \omega_{real}^2 - P_{max})}}{2k_1 \sum \tau_{cmd}^2}$$

最终给电机的力矩指令即为  $\tau'_{cmd} = k \tau_{cmd}$ 。

$k_1$ 、 $k_2$  的调试方法：实时读取裁判系统反馈的底盘功率。先让底盘电机堵转，调整  $k_1$  使底盘实际功率大致与限制功率相等。再让机器人原地小陀螺，调整  $k_2$  使底盘实际功率大致与限制功率相等。

# 我们的控制方案

## 一、功率预测模型

$$P_{in} = \sum \tau \omega + K_1 \sum \tau^2 + K_2 \sum \omega^2 + K_3$$

$\tau$ ：表示转轴转矩 (N/m)

$\omega$ ：表示转轴速度 (rad/s)

$P_{in}$ ：项表示输出的轴功 (J)

$K_1 \sum \tau^2$ ：用于表示由转矩所引起的能量损耗，以及用来弥补在加减速阶段由于加速度的存在所引起的额外的能耗

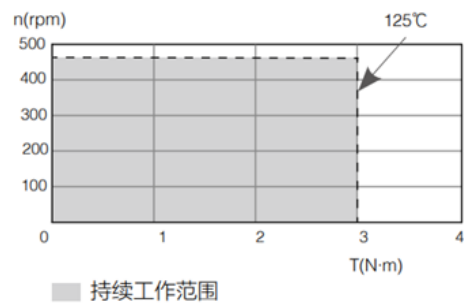
$K_2 \sum \omega^2$ ：用于表示由角速度所引起的能量损耗

$K_3$ ：用于表示在底盘静态时电调电机的待机能耗

$\tau$ ：

根据M3508电机说明书，我们的底盘基本一直工作在电流转矩的线性区间：

工作范围图



$\eta$ - 效率， $T$ - 扭矩， $I$ - 电流， $P$ - 输出功率， $n$ - 转速

所以认为转矩常数不变：

电机特征值	
额定电压	24 V
转矩常数	0.3 N·m/A

由于3508电机的电流控制特性为：

对应控制 4 个 ID 的电调。控制电流值范围 -16384~0~16384，对应电调输出的转矩电流范围 -20~0~20A。

减速比

3591/187

所以每当我们算出一个期望电流  $I$  之后，期望转矩  $\tau$  等于  $I \times tor$

当我们获得转矩  $\tau$  以及转速  $\omega$  之后即可以开始进行功率预测了。

## 二、功率限制

按照一开始提出的公式：

$$P_{in} = \sum \tau \omega + K_1 \sum \tau^2 + K_2 \sum \omega^2 + K_3$$

如果  $P_{in} \leq P_{max}$ ，则不需要做限制，直接将电流发送给电机。

如果  $P_{in} > P_{max}$ ，则需要对功率做出限制。现在我们的方程中有两个变量：转矩以及转速。于是我们就有两种方式去削减期望功率，减少转矩或者减少速度。显然，速度随时间是连续的，是不可能我们人为的直接瞬间削减一个较大值。相反，转矩电流是我们随时自由控制的，所以我们就通过削减转矩电流的方式去将期望功率削减到功率上限以内。

设一个转矩缩小系数： $K$

$$\tau' = K\tau$$

使得  $\tau'$  满足：

$$P_{max} = \sum \tau' \omega + K_1 \sum \tau'^2 + K_2 \sum \omega^2 + K_3$$

通过上式解出：

$$K = \frac{-\sum \tau \omega + \sqrt{(\sum \tau \omega)^2 - 4K_1 \sum \tau^2 (K_2 \sum \omega^2 + K_3 - P_{max})}}{2K_1 \sum \tau^2}$$

计算出的  $K$  一定是一个  $(-1, 1)$  的小数。

然后将  $I' = KI$  作为实际电流发送给电机。

### 三、调试

首先在静止状态下设定  $K_3$

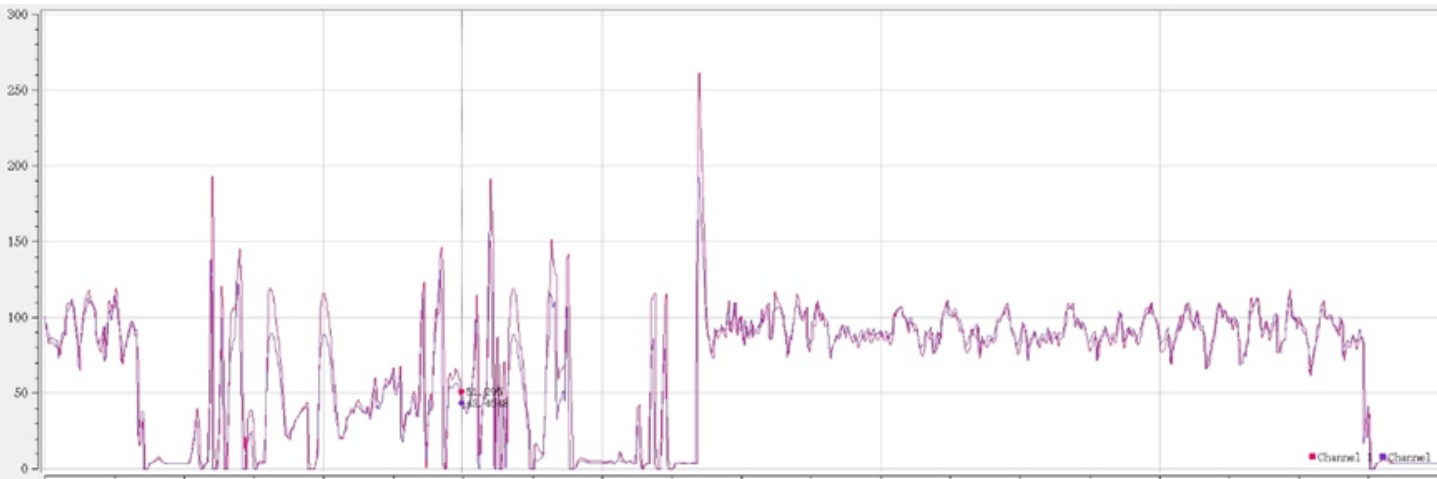
然后将  $K_1$  和  $K_2$  设置为2.0和0.01（经验）

然后进行拟合，首先调整  $K_1$ ，当在不断加减速时预测功率能够稳定跟踪后再调节  $k_2$ ， $k_2$  则在不断原地小陀螺的过程中调节。

在实际限幅时将输入函数的限制功率=裁判系统上限功率 - (2,5)w（取决于要激进还是保守）

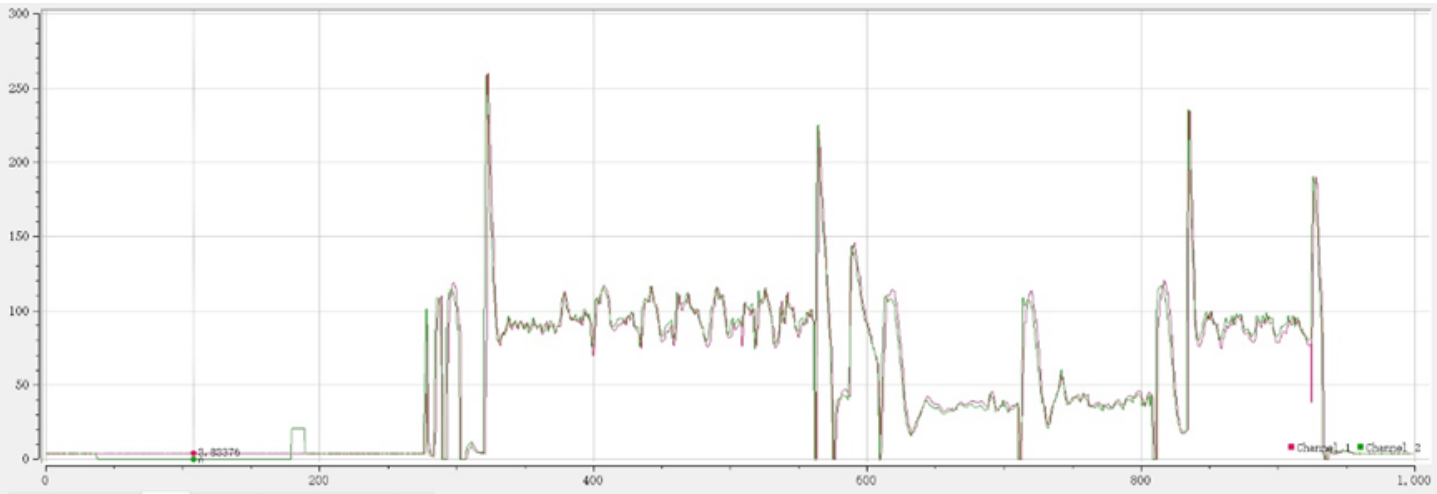
### 示例

可能在一开始效果为：



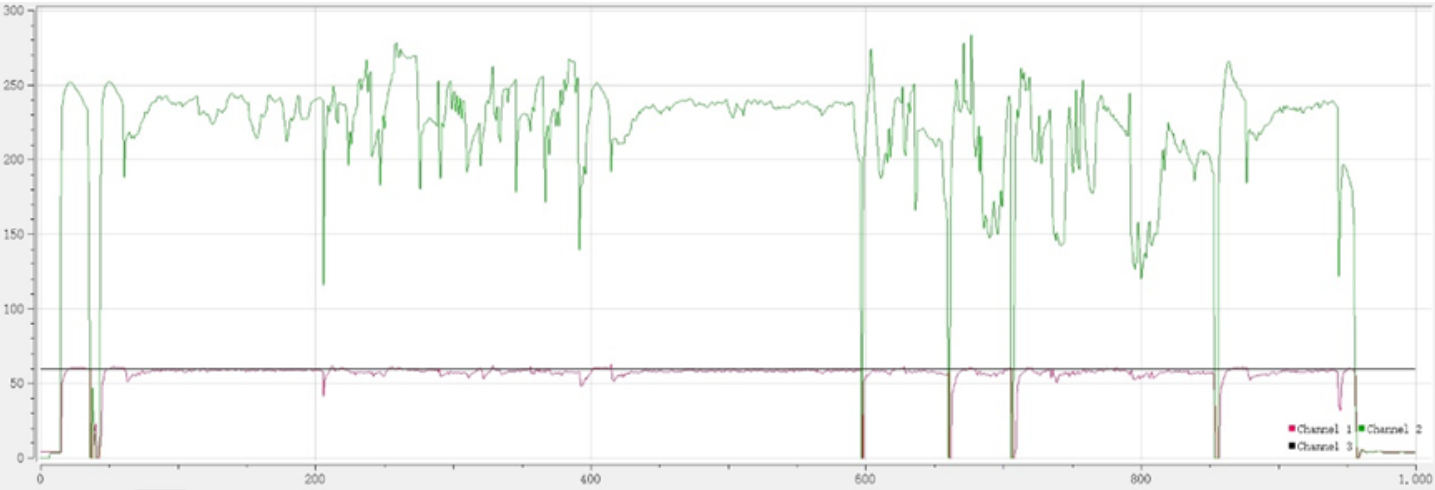
红色为实际功率，紫色为期望功率

然后按上述方法不断调整参数可至：



红色为实际功率，绿色为期望功率

最后进行功率限制：



# 缓存能量利用

未定

已经达到的效果（按下键盘R键开始使用）

以下图片均为蓝色为剩余缓存能量：

