



#### 机体响应推导

当电机施加一个力矩  $\tau$  给机体时，机体不会瞬间改变角速度，而是由转动惯量决定。刚体方程：

$$J\dot{\omega} = \tau - D\omega$$

$$\dot{\omega} + \frac{D}{J}\omega = \frac{1}{J}\tau$$

做拉普拉斯变换

$$(Js + D)\Omega(s) = T(s)$$

$$G_{\omega}(s) = \frac{\Omega(s)}{T(s)} = \frac{1}{Js + D}$$

化成标准一阶格式：

$$G_{\omega}(s) = \frac{\Omega(s)}{T(s)} = \frac{K_p}{T_p s + 1}, \quad \text{其中 } T_p = \frac{J}{D}, \quad K_p = \frac{1}{D}$$

-  $T_p$ ：机体时间常数，描述角速度上升的“惯性慢”

#### 执行器响应推导

电调+电机+桨叶有滞后  
用一阶惯性系统描述响应：

$$T_m \dot{u}_{act} + u_{act} = u_{cmd}$$

做拉普拉斯变换

$$T_m s U_{act}(s) + U_{act}(s) = U_{cmd}(s)$$

$$G_{act}(s) = \frac{U_{act}(s)}{U_{cmd}(s)} = \frac{1}{T_m s + 1}$$

-  $T_m$ ：执行器时间常数，表示电机达到新转速需要  $T_m$  秒  
- 当  $s=0$  (稳态) 时，增益=1  
- 频率越高，幅值越小、相位越滞后

