



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

智能机器人综合实验

题 目： 彭键清老师第六次作业

组 号： 24

组 员： 常毅成

指导教师： 彭键清

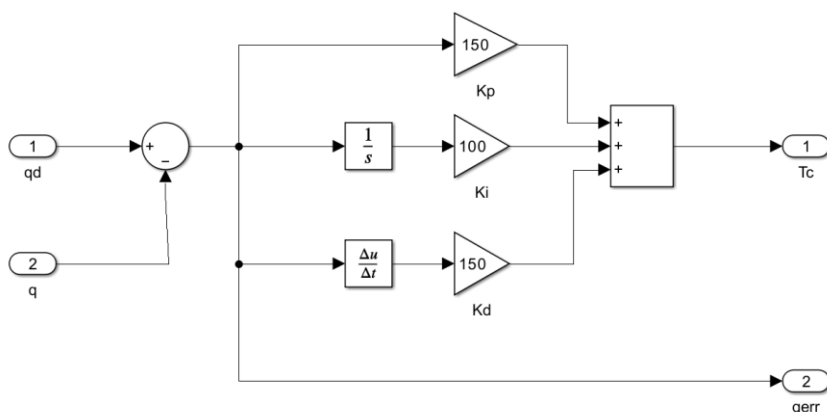
2024 年 10 月

一、PID 模型的建立

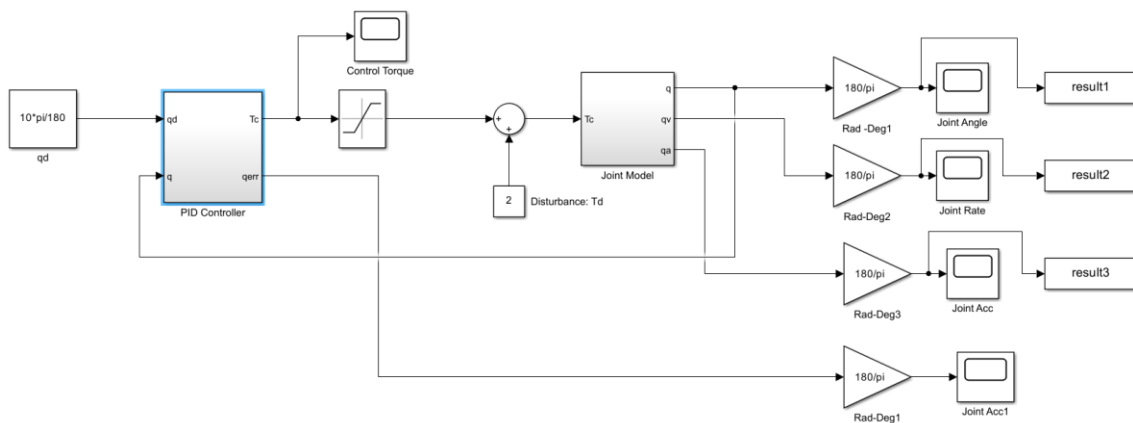
单关节 PID 控制律如下

$$T_c = k_p (\theta_d - \theta) + k_i \int (\theta_d - \theta) dt + k_d (\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) \quad (1)$$

其中 θ_d 为期望的关节角（规划值）、 θ 为实际关节角（检测值）； $\dot{\theta}_d$ 和 $\dot{\theta}$ 分别为期望的关节角速度和实际关节角速度， K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分控制参数， T_c 为控制力矩。在 Matlab 这个，积分和微分分别用 $1/s$ 模块和 du/dt 模块表示。因此 PID 控制器的 Matlab 模型如下图所示。



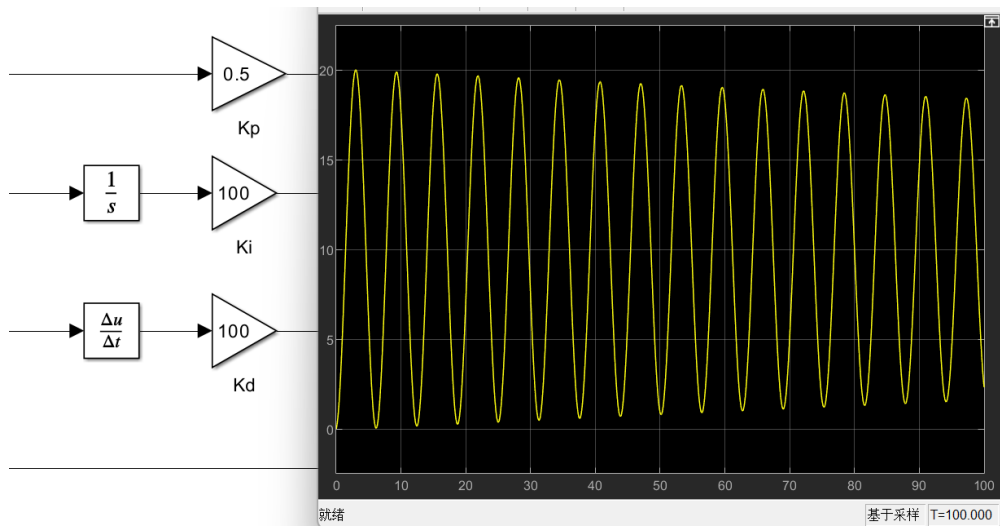
我们利用 tool workspace 将示波器的数据导出，计算出了超调量、调节时间、上升时间等参数，利用这些数据我们更方便地看出了曲线的变化，便于我们观察出规律。下面是我们修改后的 simulink 仿真图。



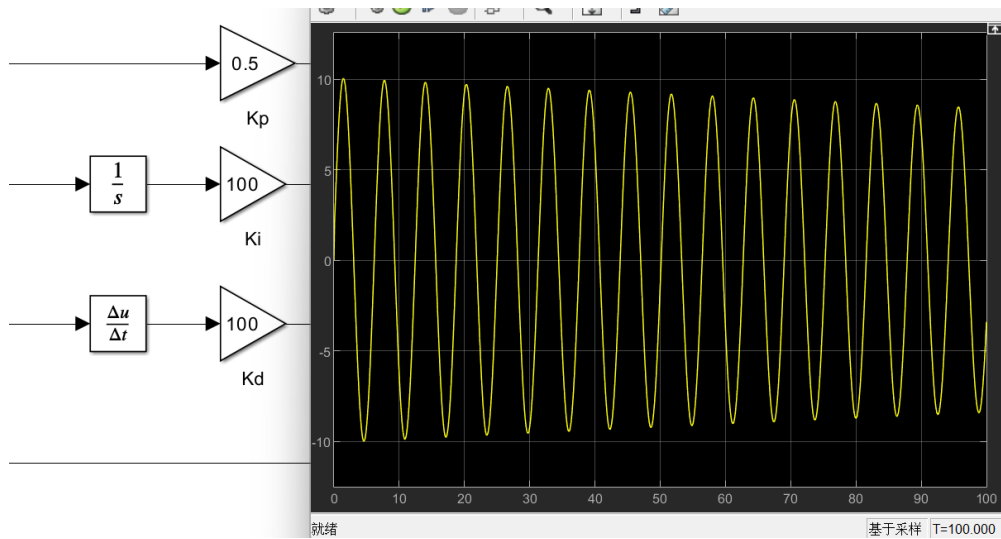
二、参数调节

(1) 比例系数调整，P 控制

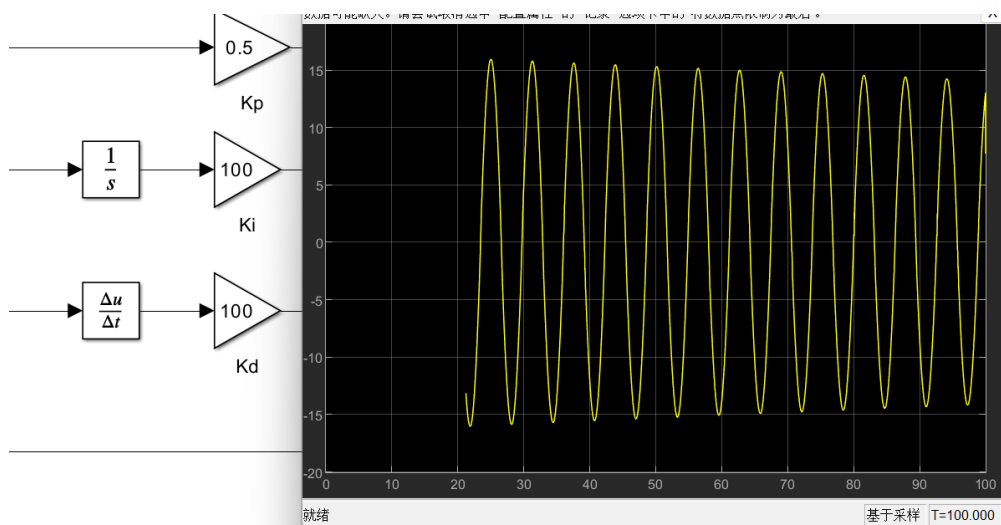
$K_p = 0.5$, $K_i = 100$, $K_d = 100$



关节轨迹图

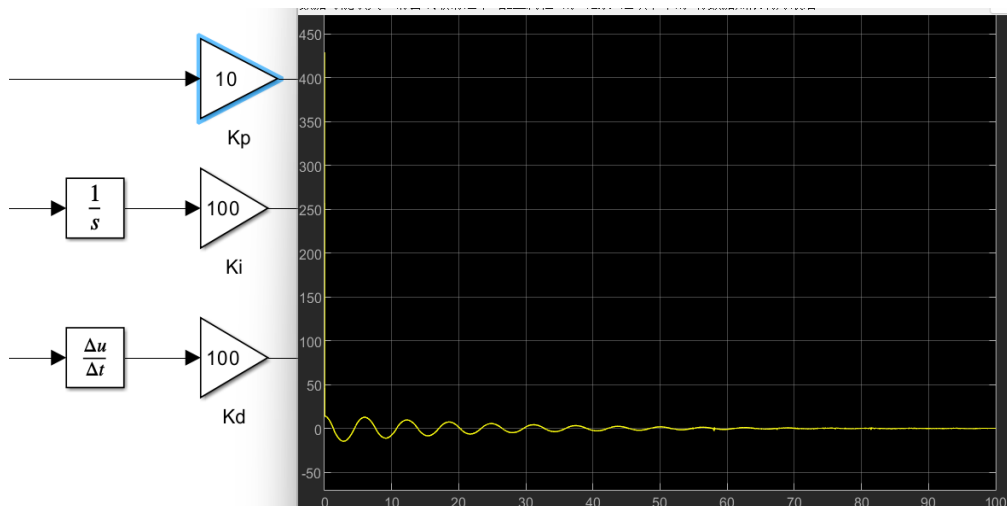
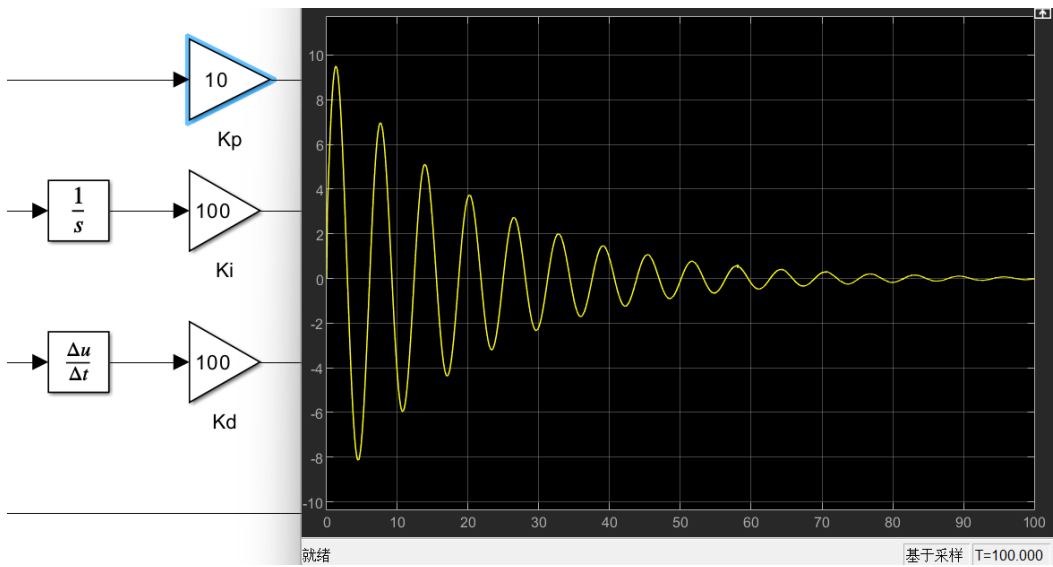
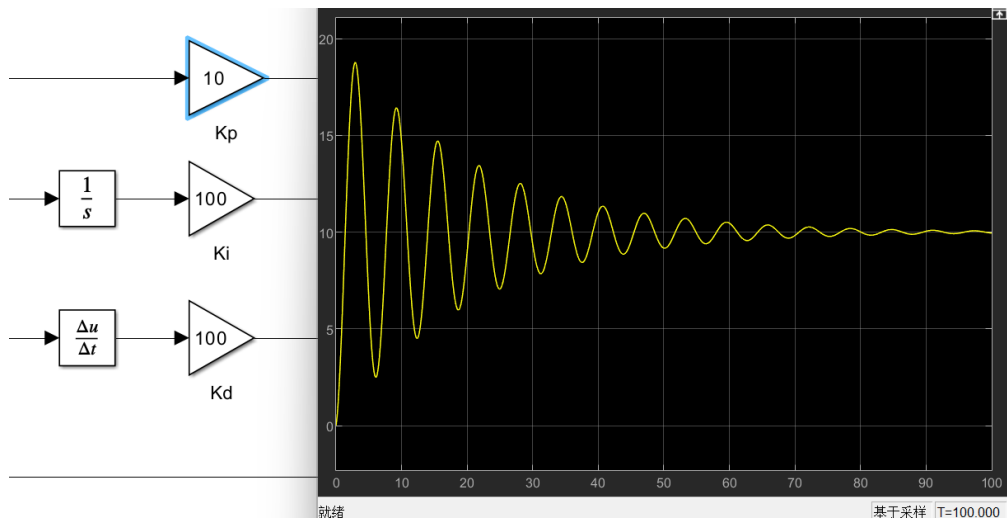


关节角速度图

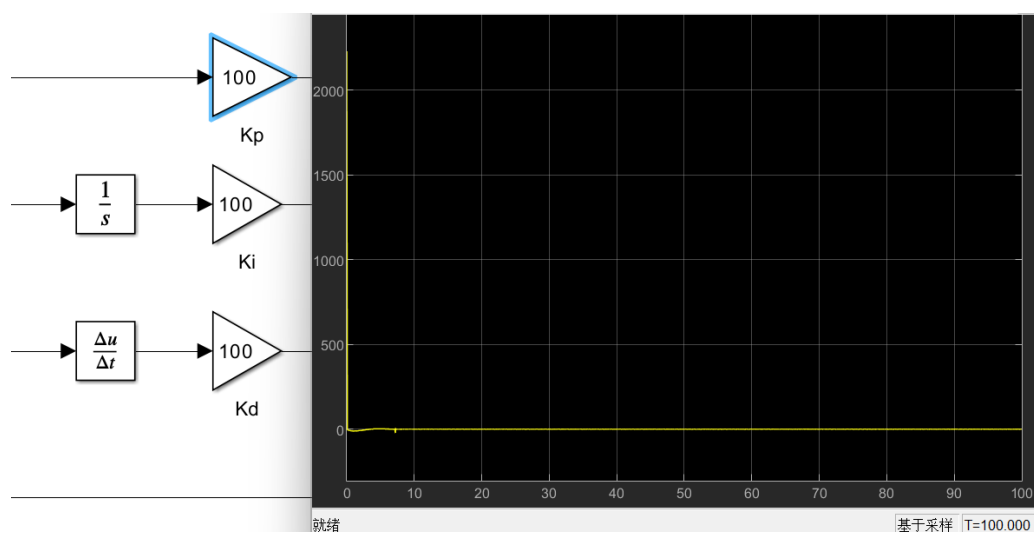
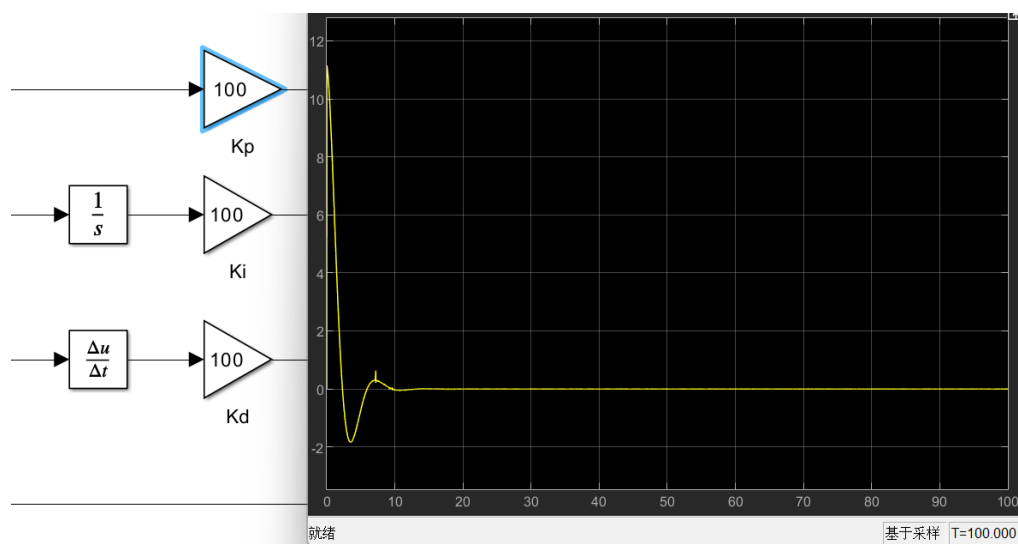
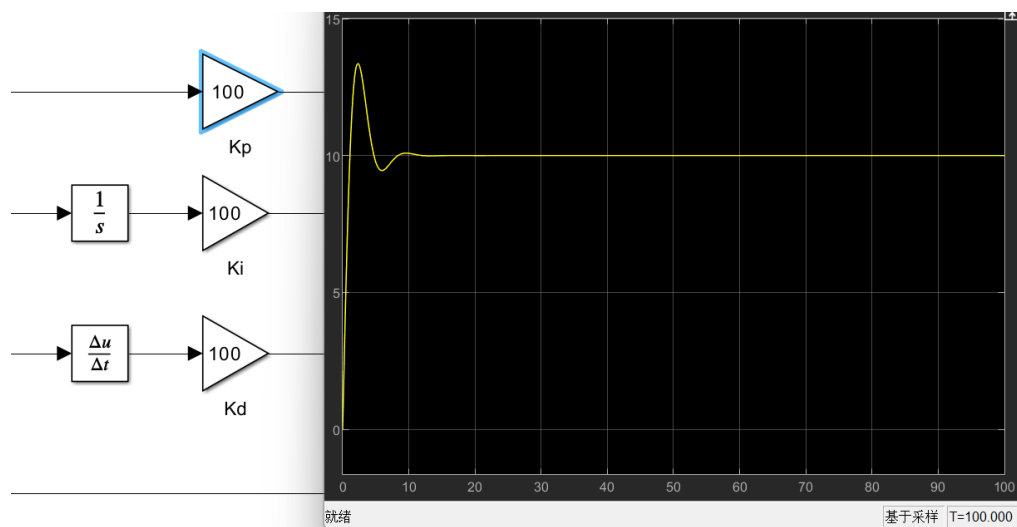


关节角加速度图

$K_p=10$, $K_i=100$, $K_d=100$

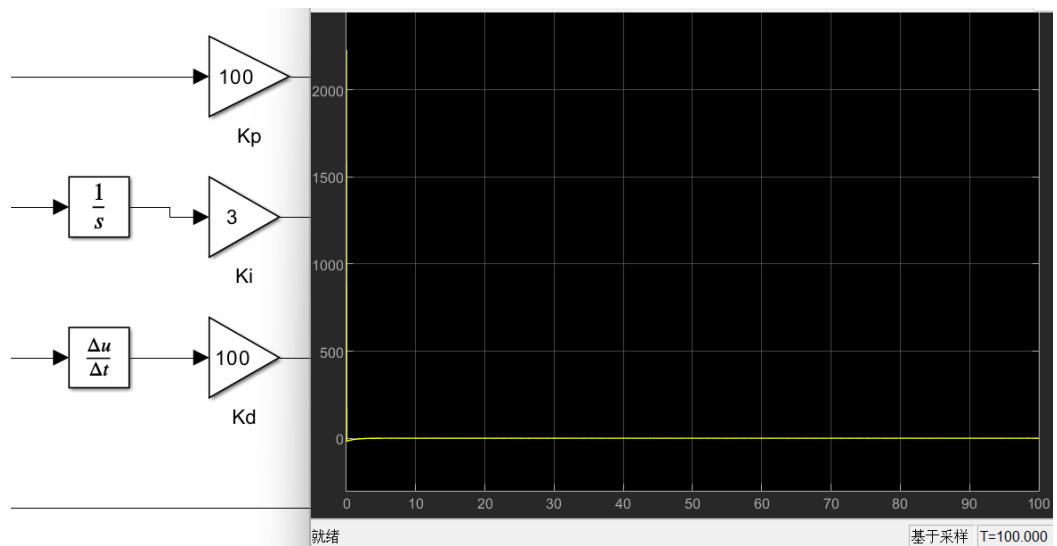
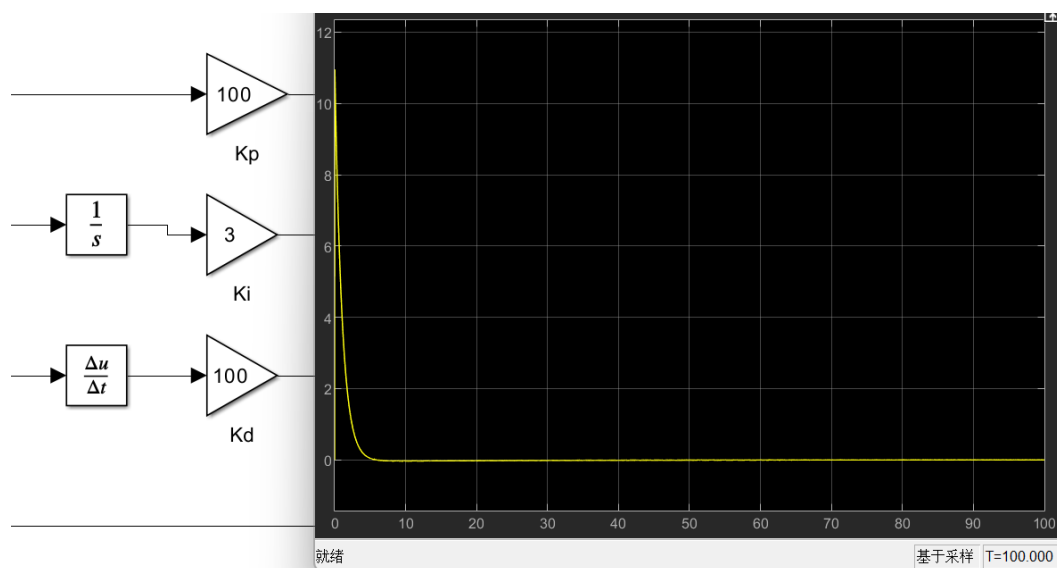
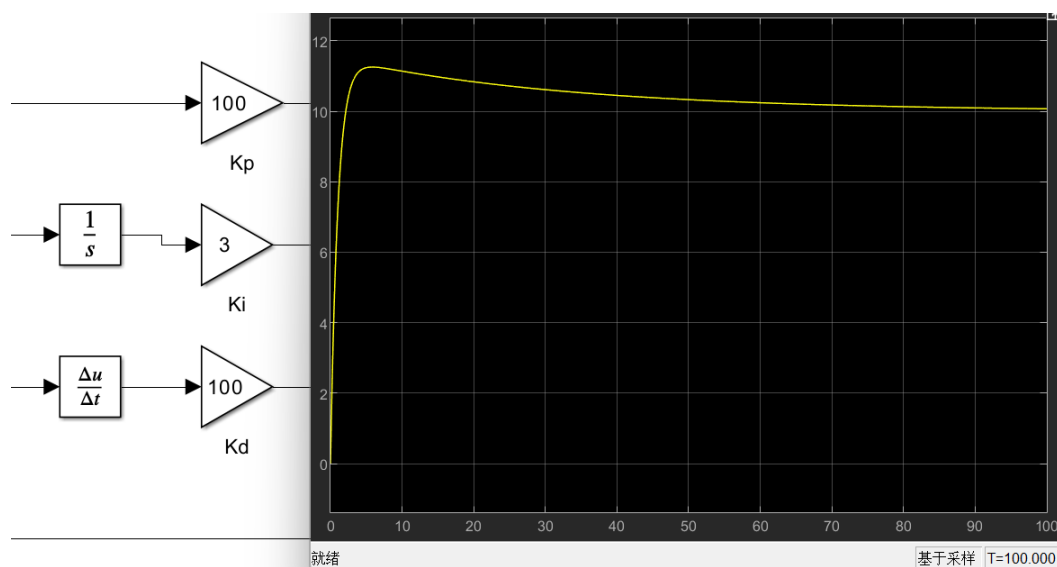


$K_p=100$, $K_i=100$, $K_d=100$

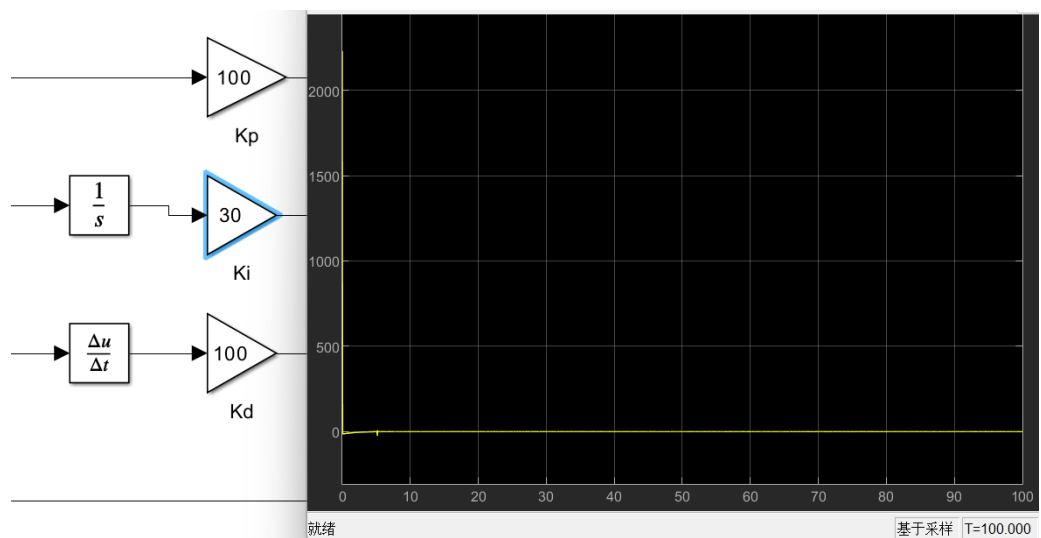
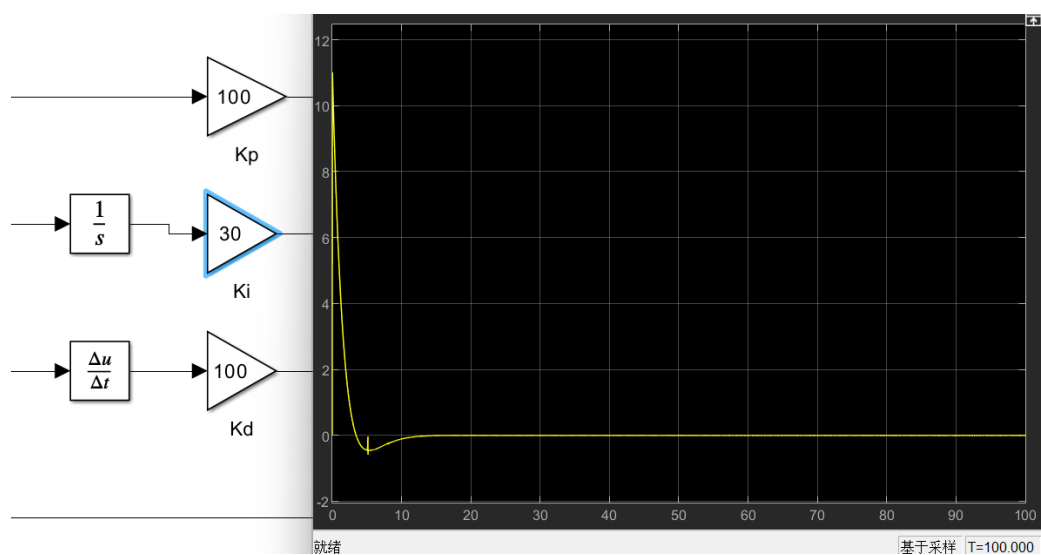
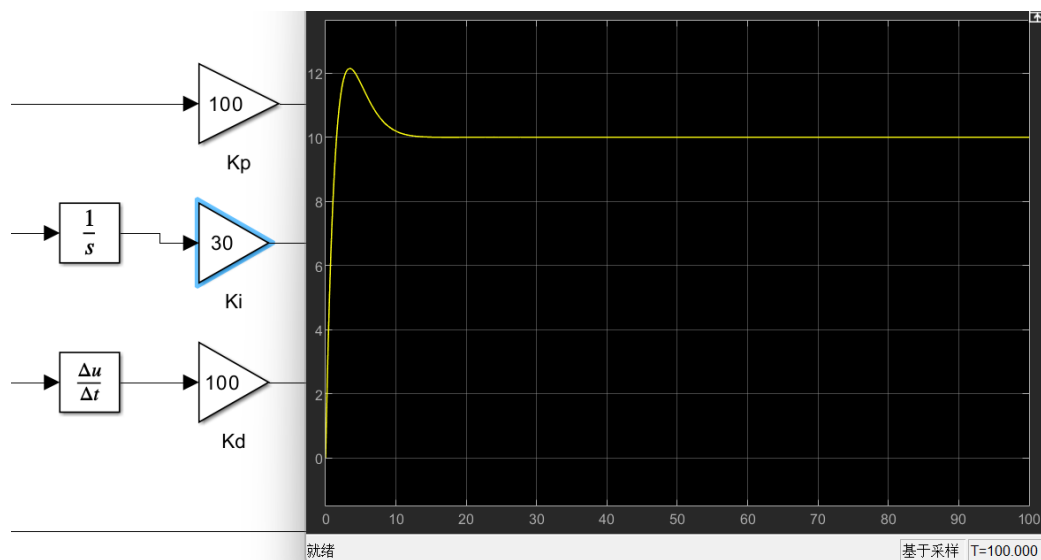


(2) 积分控制, I 控制

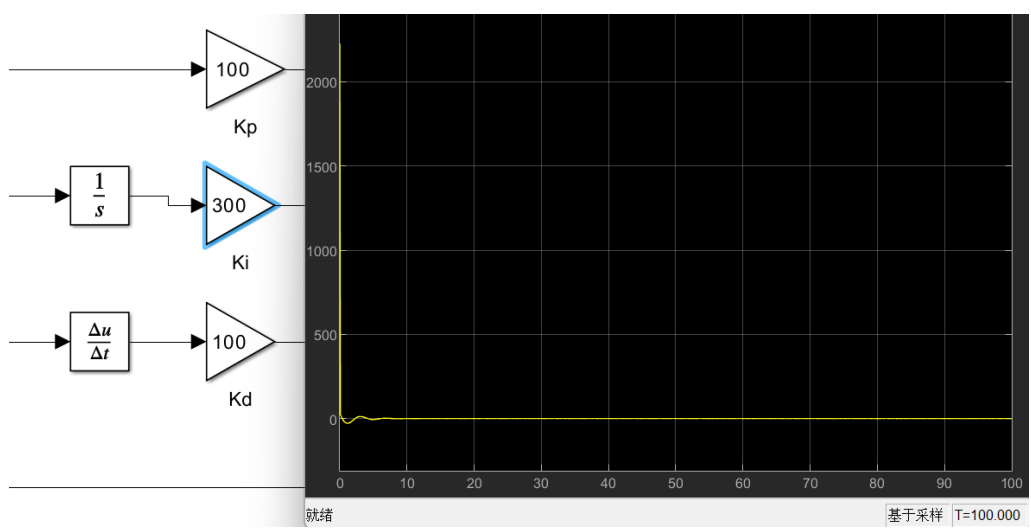
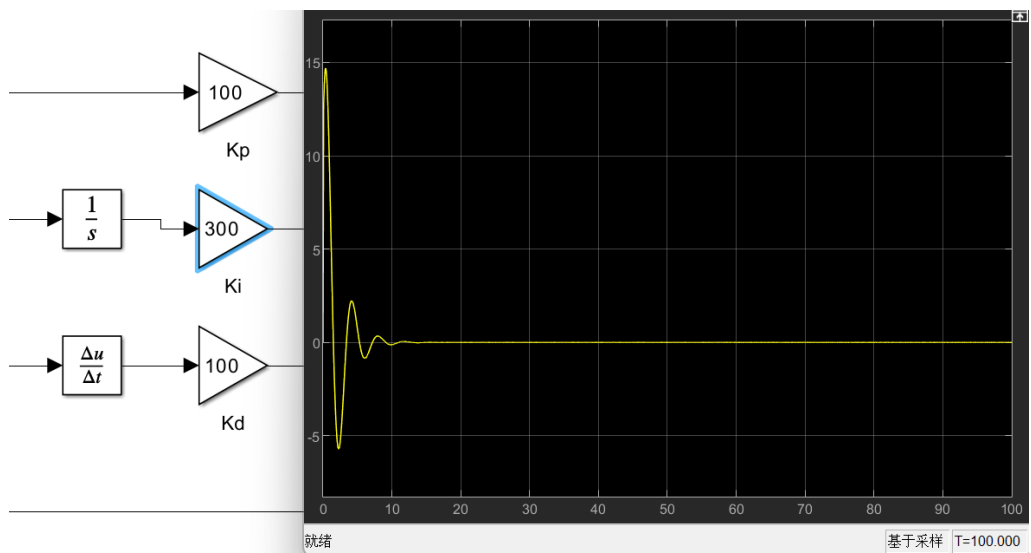
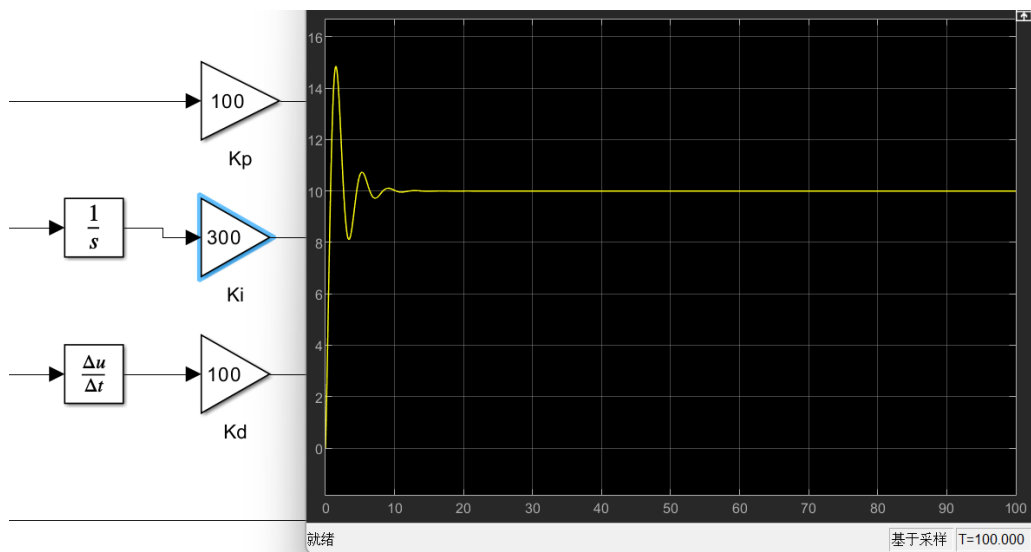
$$K_p=100, K_i=3, K_d=100$$



$$K_p=100, K_i=30, K_d=100$$

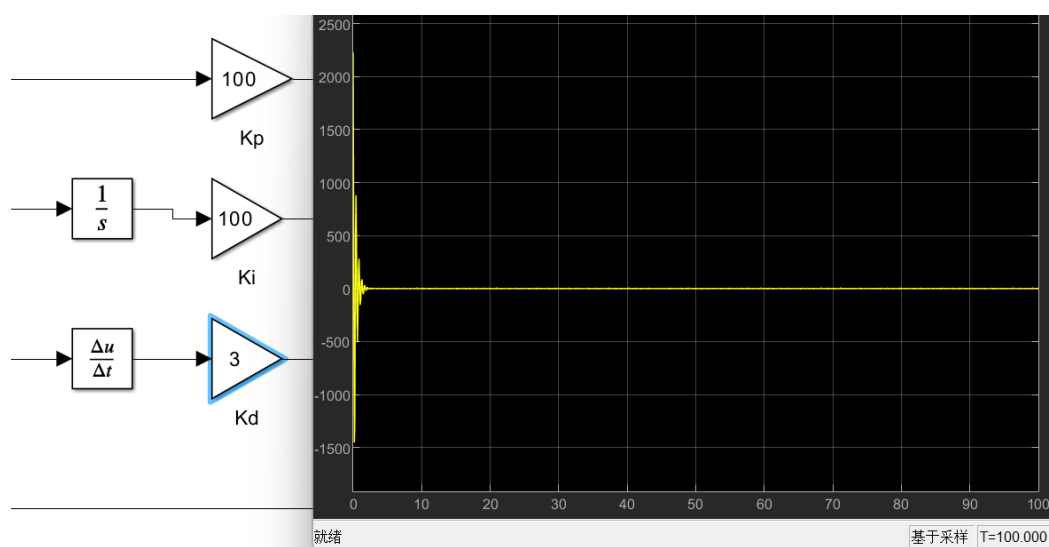
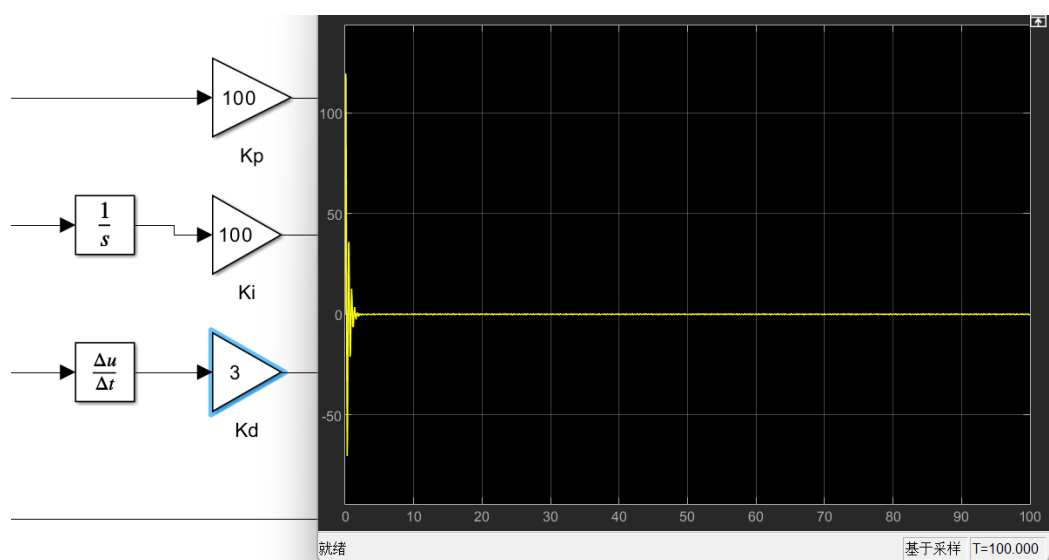
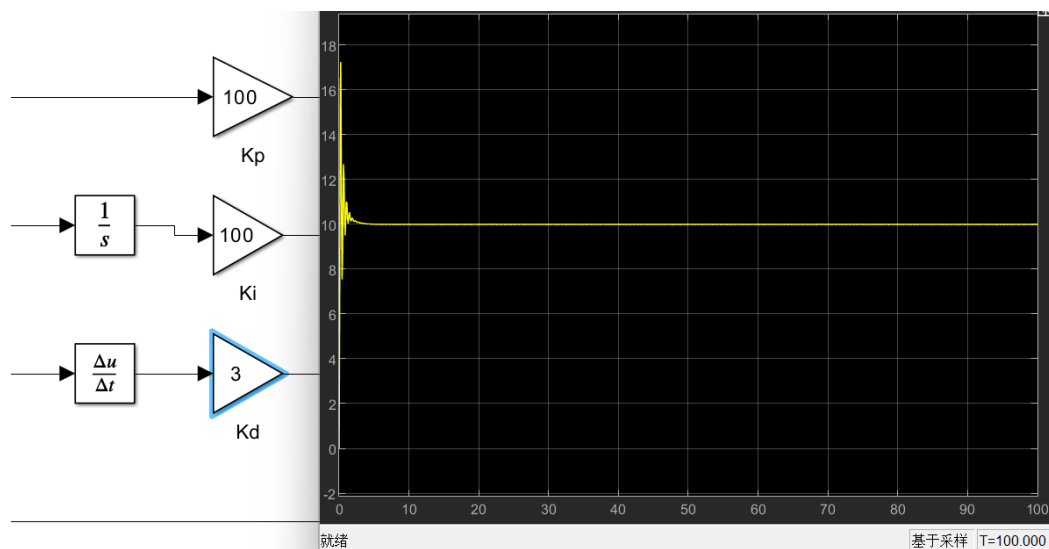


$$K_p=100, K_i=300, K_d=100$$

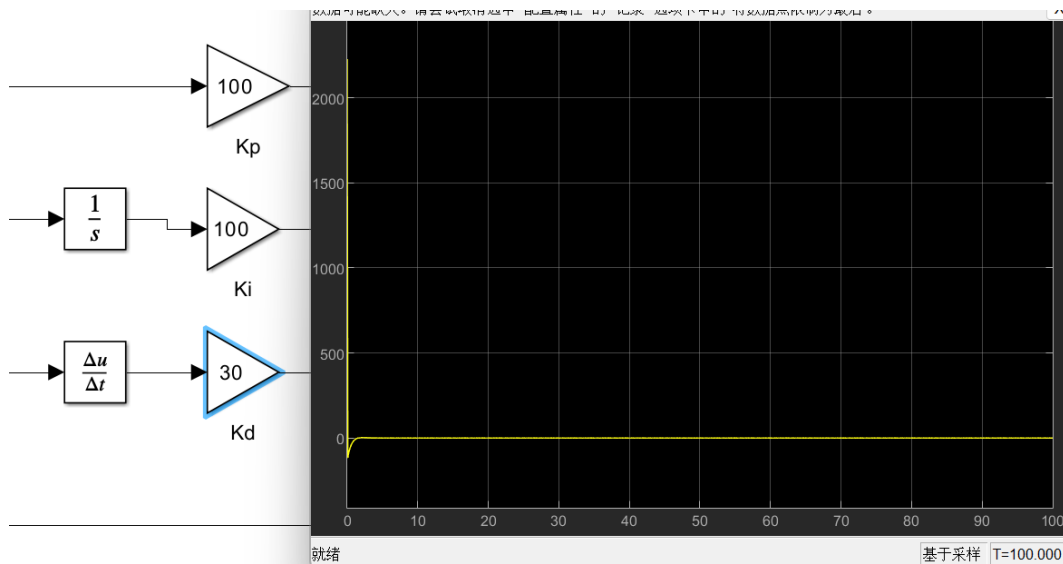
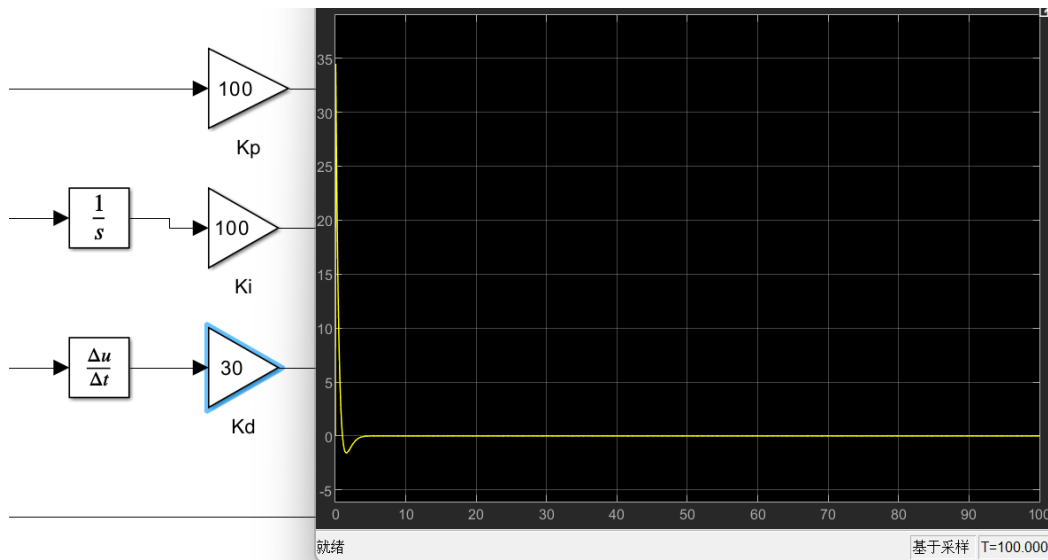
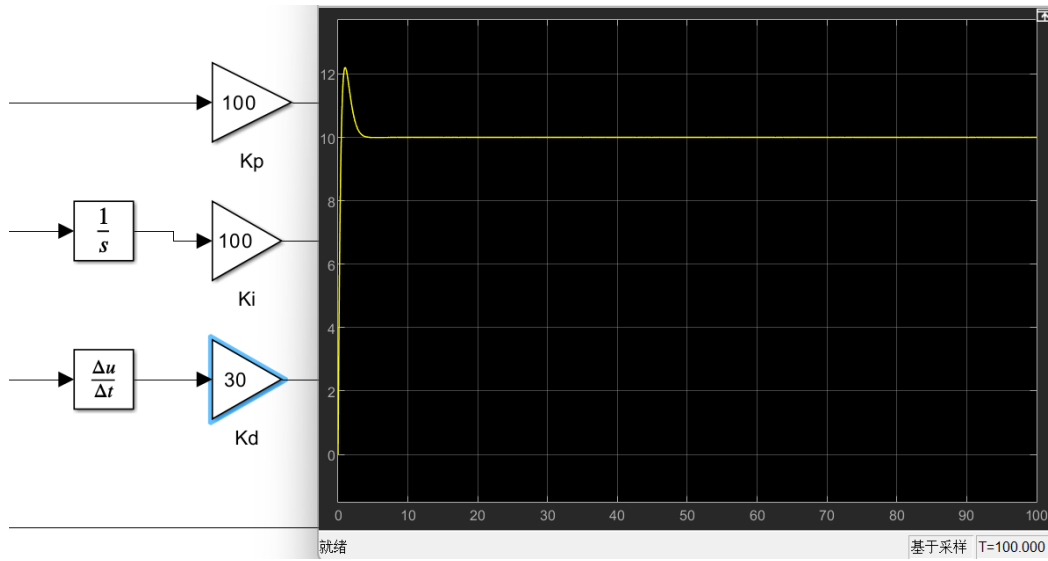


(3) 微分控制，D 控制

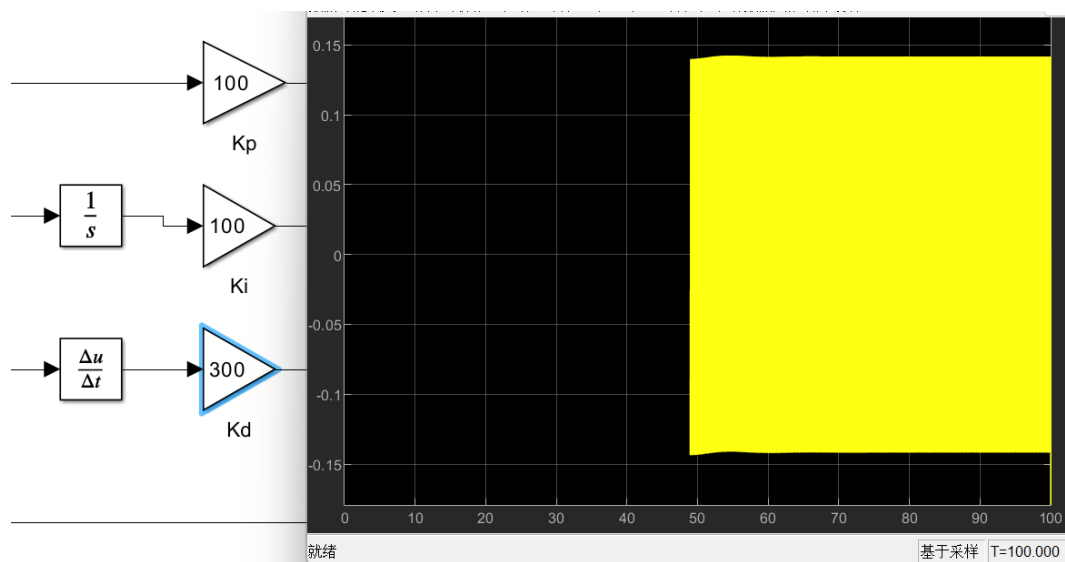
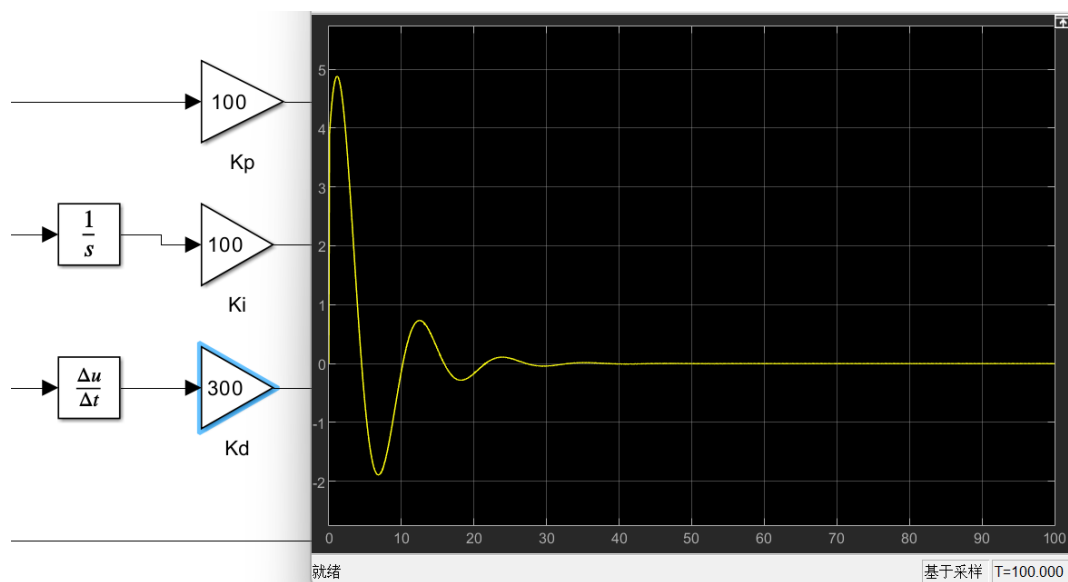
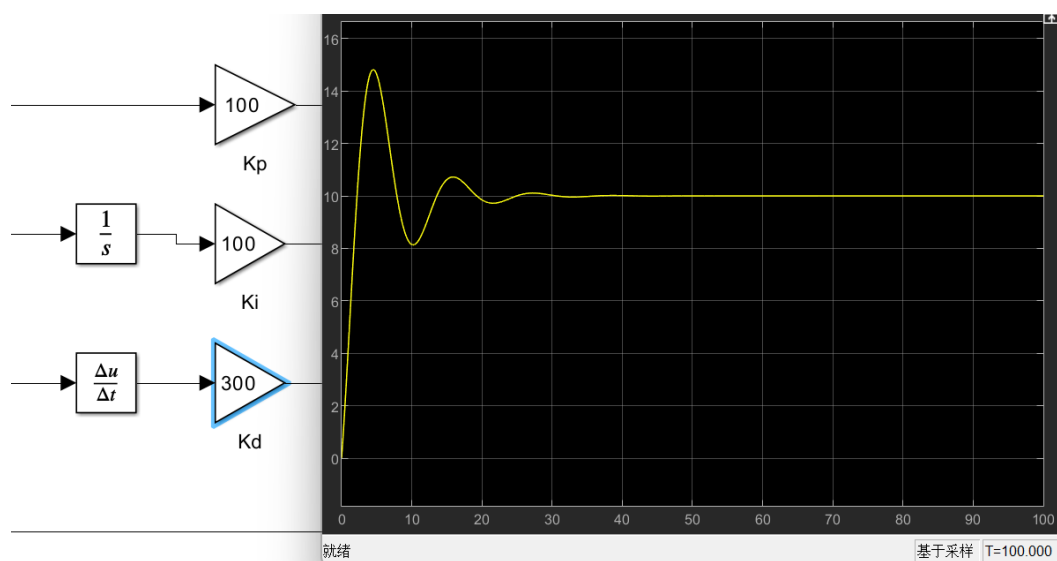
$$K_p=100, K_i=100, K_d=3$$



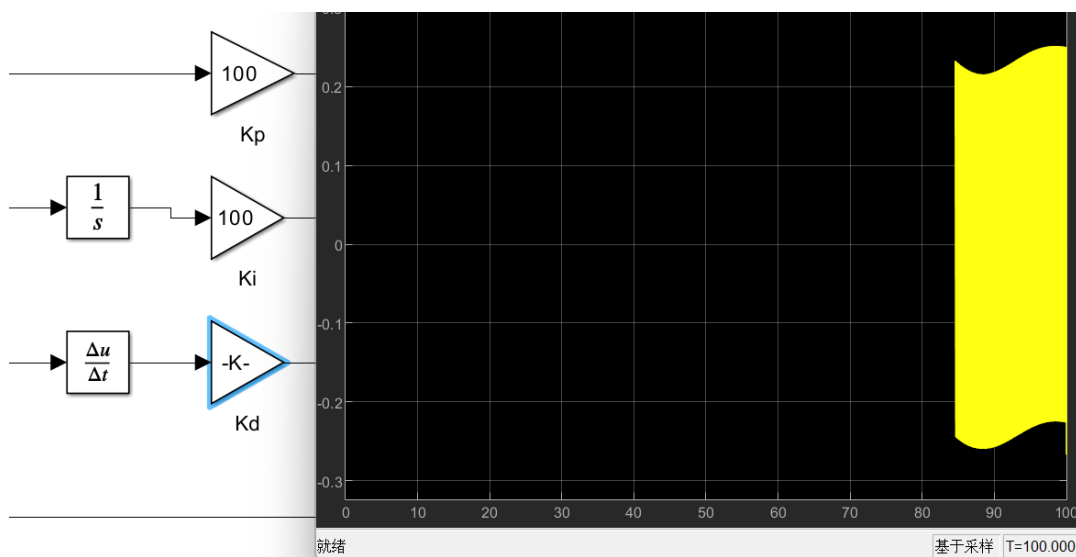
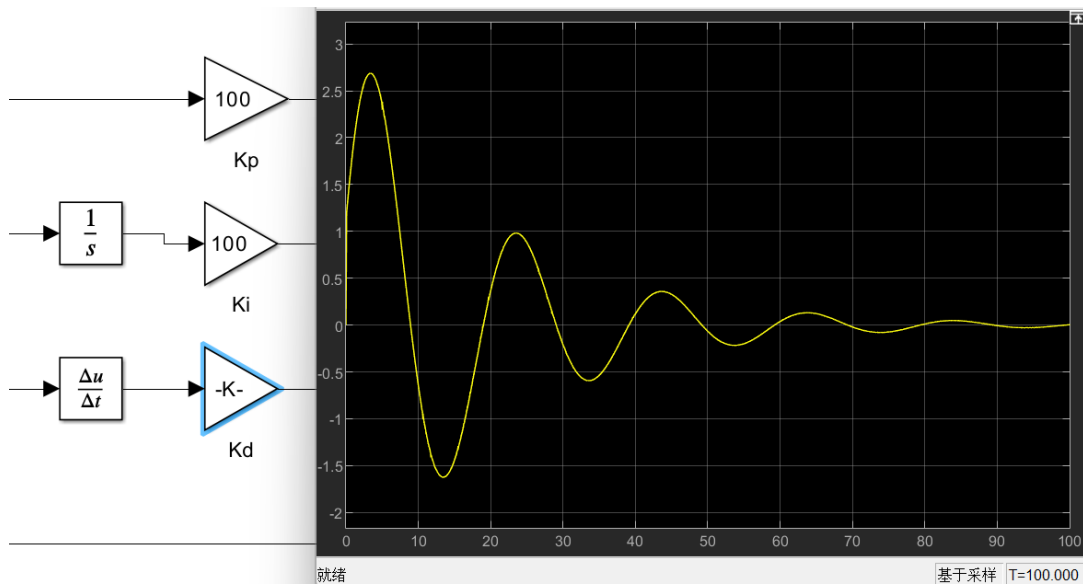
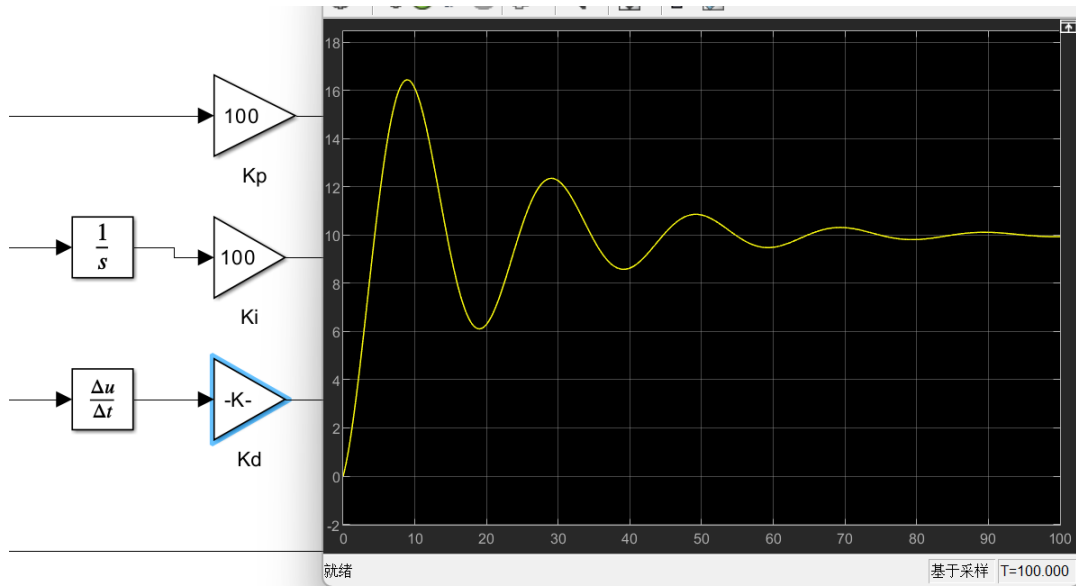
$$K_p=100, K_i=100, K_d=30$$



$$K_p=100, K_i=100, K_d=300$$



$K_p=100$, $K_i=100$, $K_d=1000$



三、实验结果和观察思考

3.1 微分系数

1. 微分作用是根据偏差变化的速度大小来修正控制。
2. 微分作用总是阻止被控参数的任何变化。
3. 适当地加入微分控制，可有效抑制振荡、提高系统的动态性能。
4. 微分对系统噪声非常敏感，单一的微分控制器在任何情况下都不适合与被控对象串联起来单独使用。

5. 闭环控制系统的振荡甚至不稳定的根本原因在于有较大的滞后因素。因为微分项能预测误差变化的趋势，这种“超前”的作用可以抵消滞后因素的影响。适当的微分控制作用可以使超调量减小，增加系统的稳定性。对于有较大的滞后特性的被控对象，如果PI控制的效果不理想，可以考虑增加微分控制，以改善系统在调节过程中的动态特性。如果将微分时间设置为0，微分部分将不起作用。微分控制的缺点是对干扰噪声敏感，使系统抑制干扰的能力降低。为此可在微分部分增加惯性滤波环节。

可见微分控制增加的系统的阻尼，有助于改善系统的动态性能。

3.2 积分系数

1. 相当于增加了一个位于原点的开环极点，同时增加了一个位于 s 左半平面的开环零点。
2. 位于原点的极点：提高系统的型别，从而消除或减少稳态误差（准确性能提高），但稳定性变差。
3. 增加的负实部零点可以缓和极点对稳定性的不利影响。
4. 积分控制相当于根据当时的误差值，周期性地微调电位器的角度，每次调节的角度增量值与当时的误差值成正比。因此只要误差不为零，控制器的输出就会因为积分作用而不断变化。积分调节的“大方向”是正确的，积分项有减小误差的作用。一直要到系统处于稳定状态，这时误差恒为零，比例部分和微分部分均为零，积分部分才不再变化，并且刚好等于稳态时需要的控制器的输出值，因此积分部分的作用是消除稳态误差，提高控制精度，积分作用一般是必须的。

3.3 比例系数

增益 K_p 的增大，使系统的调节作用增强，但稳定性下降。按比例反应系统的偏差，系统一旦出现了偏差，比例调节立即产生调节作用用以减少偏差。比例作用大，可以加快调节，能迅速反应误差，从而减小稳态误差。但是，比例控制不能消除稳态误差。过大的比例，使系统的稳定性下降，甚至造成系统的不稳定。