

# 作业7

作者：Costannt

完成时间：2025年12月5日

1. 在研究带有约束的执行机构时，可以使用图 1 中的环节来描述同时具有幅值和转换速率约束的执行机构。这个图和图 2 中的环节是否有区别？能否用图 2 中的环节来描述同时具有幅值和转换速率约束的执行机构？

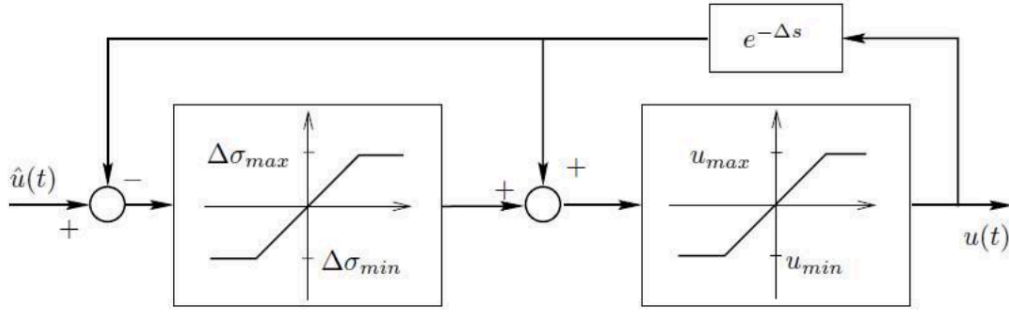


图 1

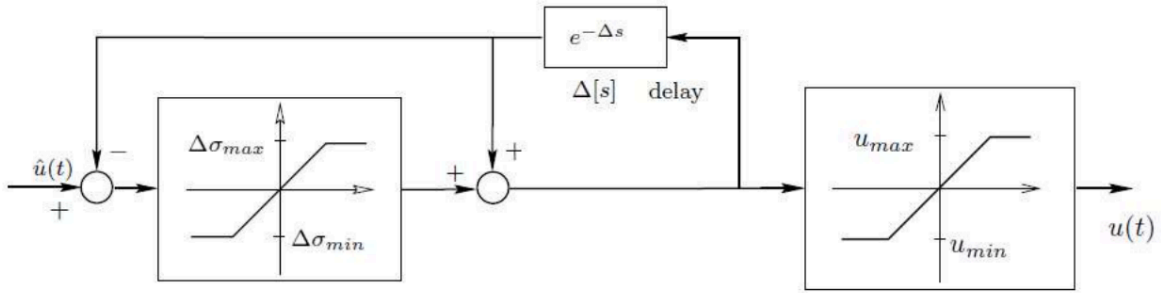


图 2

答：有区别。

不妨将转换速率约束函数、幅值约束函数分别记为  $f_1, f_2$ ，容易给出图1中：

$$u(t) = f_2(f_1(\hat{u}(t) - u(t - \Delta)) + u(t - \Delta))$$

类似可以给出图2中：

$$u(t) = f_2(f_1(\hat{u}(t) - \hat{u}(t - \Delta)) + \hat{u}(t - \Delta))$$

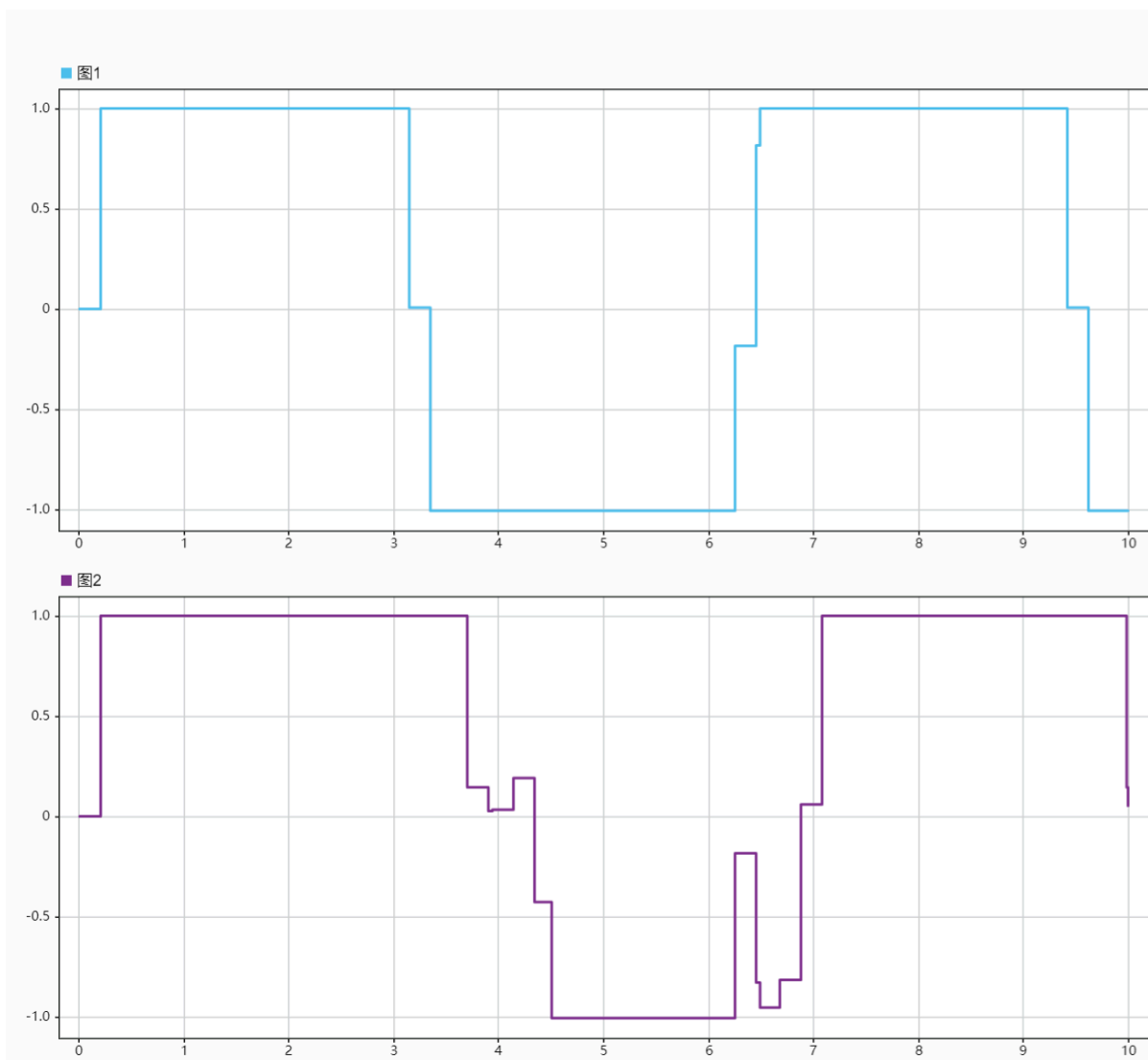
根据仿真很容易表明二者不等价：

$$\hat{u}(t) = 5 \sin t$$

$$\Delta = 1s$$

$$f_1 = \min(\max(x, -2), 2)$$

$$f_2 = \min(\max(x, -1), 1)$$

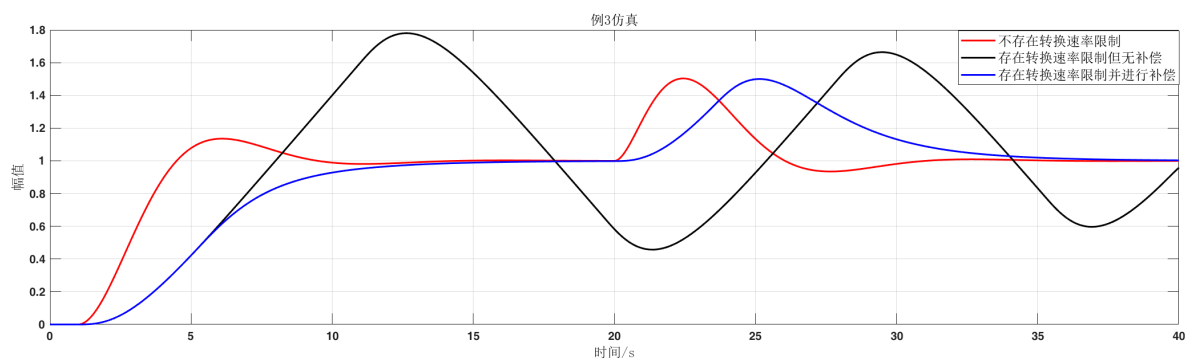


第一个表达式基于实际的过去控制信号进行调整，考虑了实际执行过程中的累积效果，而第二个表达式则基于理想控制信号的历史值进行调整，不直接考虑实际执行过程中可能产生的偏差，因此使用图1描述同时具有幅值和转换速率约束的执行机构更合理。

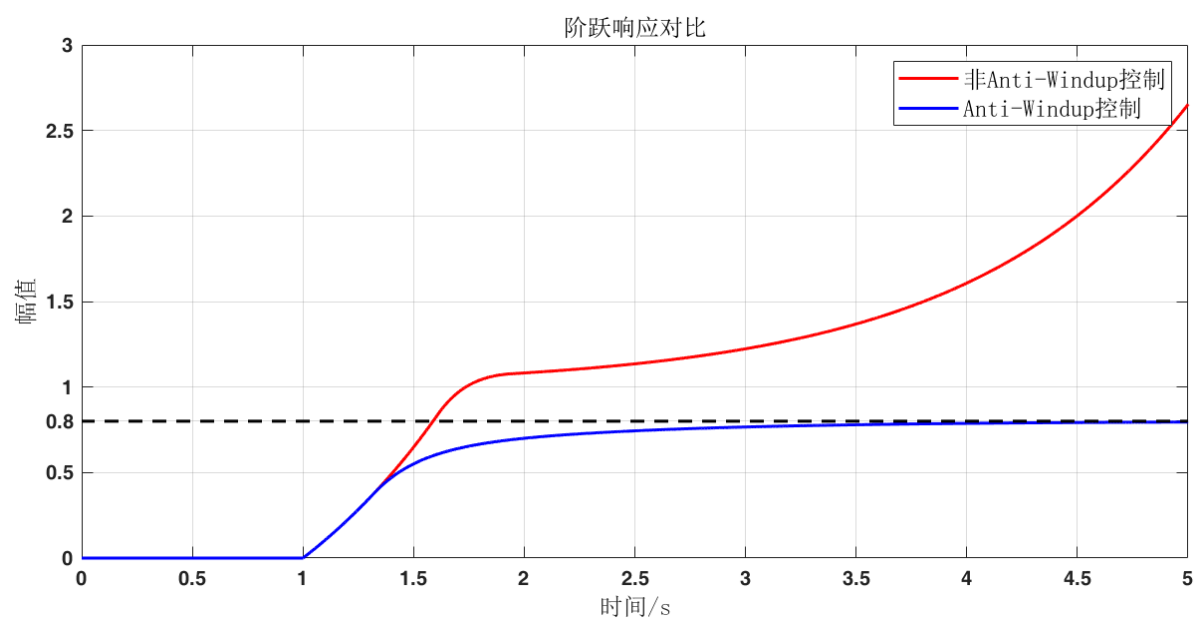
2. 完成第 8 章课件中例 3（在“第 8 章 **Anti-Windup** 设计（1）”课件中）和例 6（在“第 8 章 **Anti-Windup** 设计（2）”课件中）的仿真，提交程序（或仿真流程图）、仿真结果图。

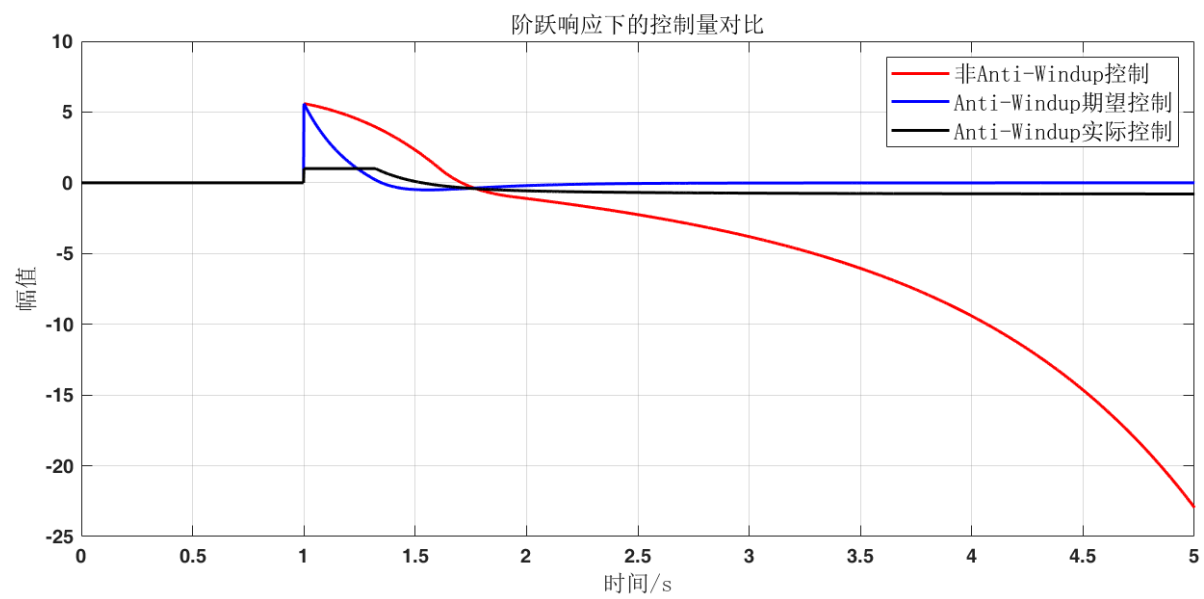
答：

仿真例3，得下图：



仿真例6，得下图：





仿真程序见附件压缩包。

3. 自学课件 8.2.2 中内容，论述 Anti-Windup 设计改善系统响应特性的基本思路是什么？结合课件中的仿真结果论述：饱和发生时，有无 Anti-Windup 措施的系统响应特性有什么相同和不同之处？

答：控制器的输入  $e(t)$  过大或收敛过慢可能会引起控制器中积分器的 Windup，进而导致执行器饱和。Anti-Windup 的思想是基于控制器输入信号  $e(t)$ ，构造一个期望的控制器输入信号  $\bar{e}(t)$  来驱动控制器的动态部分，期望误差信号选取的原则是期望误差信号驱动的控制器的输出不会超出实际控制量的限幅  $u_{\text{sat}}$

未采取 anti-windup 措施的系统，当控制器输出超出执行器物理限制，积分环节会持续累积误差，导致“积分饱和”现象；一旦误差反向，控制器需较长时间“释放”累积的过量控制量，造成系统响应迟滞、超调增大甚至不稳定。而采取 anti-windup 措施后，可在检测到执行器饱和时对积分项进行修正或限制，有效抑制积分器的过度累积，使系统在饱和解除后能迅速恢复良好动态性能，减小超调、加快响应速度，并提升整体鲁棒性与稳定性。