

实验名称

姓名： 李厚霖 学号： 520020910007 学院： 电院 专业： 自动化

指导老师： 王景川、贺越升

实验地点： 电院 4 号楼 404 实验时间： 2023. 3. 21

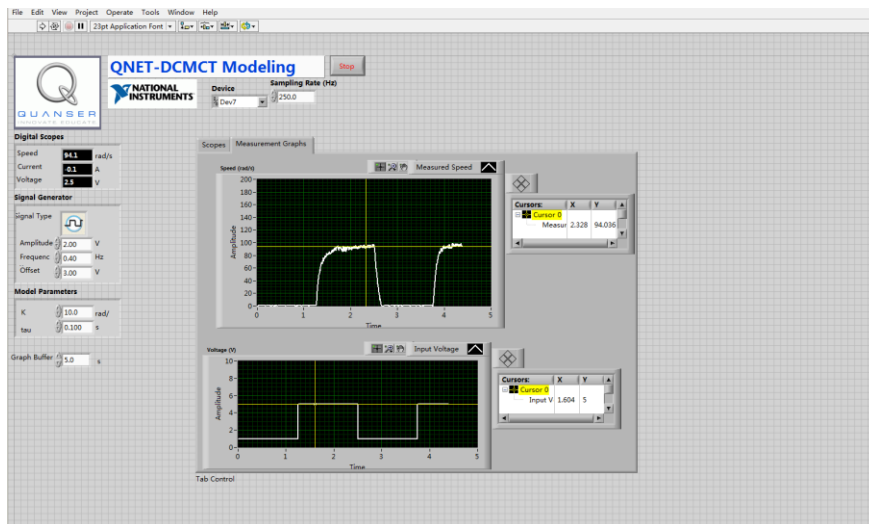
实验内容：

1、 直流电机建模

student manual 4.1 ex.1-5（见 control guide P38）

(1) 画出阶跃响应

Device 选择对应的设备 Dev7，将计算机与直流电机相连。运行 QNET_DCMCT T_Modeling.vi。按照手册要求输入信号 Amplitude=2.0V，Frequency=0.40Hz，Offset=3.0V，得到如下图阶跃响应，以此求取直流电机传递函数模型。



(2) 求该系统的稳态增益 K

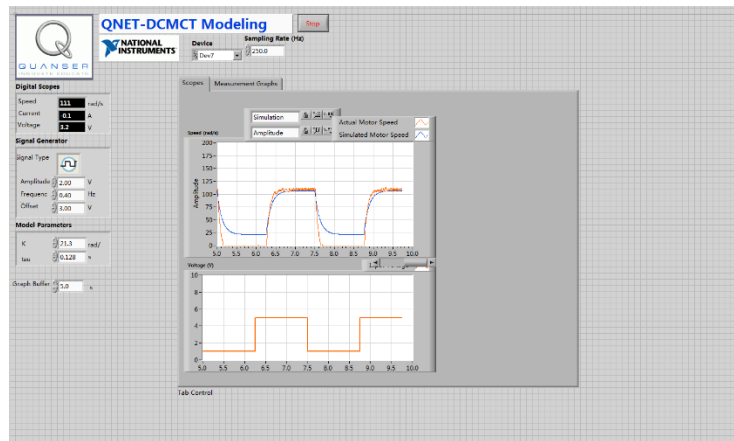
由手册给的计算公式，我们可以知道知道 K 的计算公式

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

$$\Delta y = w_{s,mm} - w_0$$

$$\Delta u = A_v$$

我们经过两次迭代，其中第一次计算得到的 $K = 18.978$ ， $\tau = 0.128$ 但是得到的效果并不好。因此在这基础上进行再次迭代，得到的效果如下图所示：



故关于增益系数 K 的表格如下图所示：

Description	Symbol	Value	Unit
Steady-state motor speed	$w_{s,mm}$	106.7	rad/s
Initial step motor speed	w_0	0	rad/s
Input step amplitude	A_v	5	V
Measured steady-state gain using bump test	K	21.38	rad/(V.s)

(3) 计算该系统的时间常数 τ

同（2）中方法，由手册我们知道时间常数 τ 的计算公式如下：

In order to find the model time constant, τ , the output signal at $y(t_1)$ must be measured. It is defined

$$y(t_1) = 0.632 y_{ss} + y_0 \quad [6.8]$$

and the time is

$$t_1 = t_0 + \tau \quad [6.9]$$

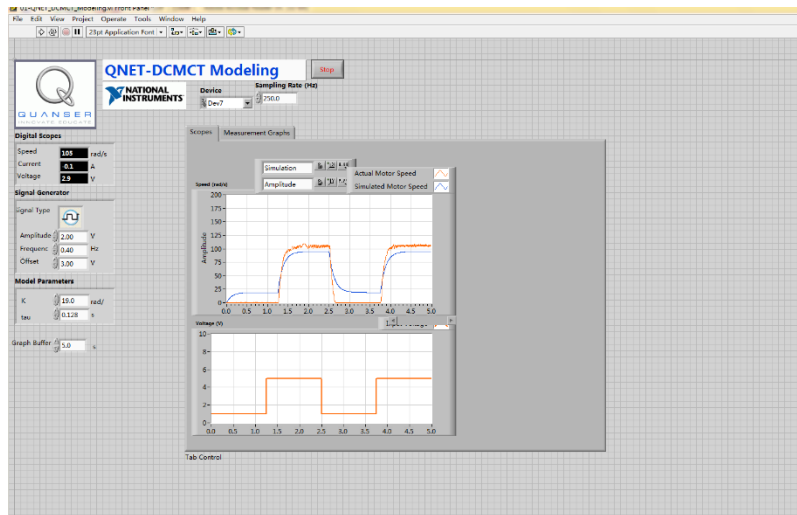
From this, the model time constant is

$$\tau = t_1 - t_0 \quad [6.10]$$

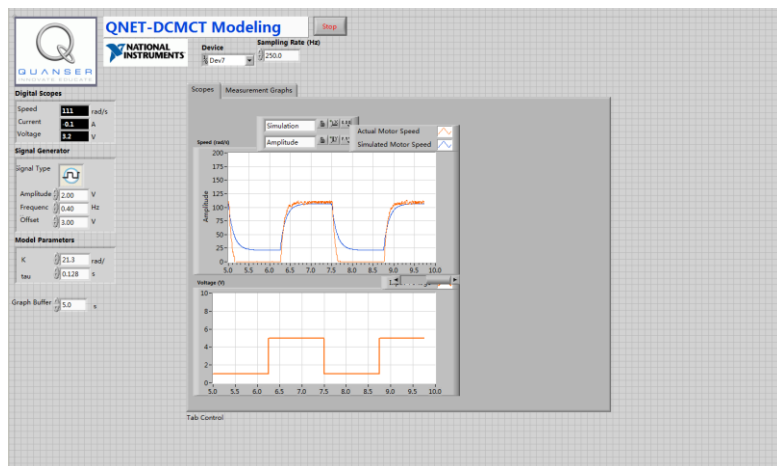
因此，最后得到的关于时间常数的表格如下图所示：

Description	Symbol	Value	Unit
Decay speed	$w_m(t1)$	67.226	rad/s
Initial step time	t_0	1.228	s
Decay step time	t_1	1.356	s
Measured time constant using bump test	τ	0.128	s

(4) 调节 K 和 τ 前后实验响应曲线与理论响应曲线的对比图：



第一次迭代: $K = 18.978$, $\tau = 0.128$



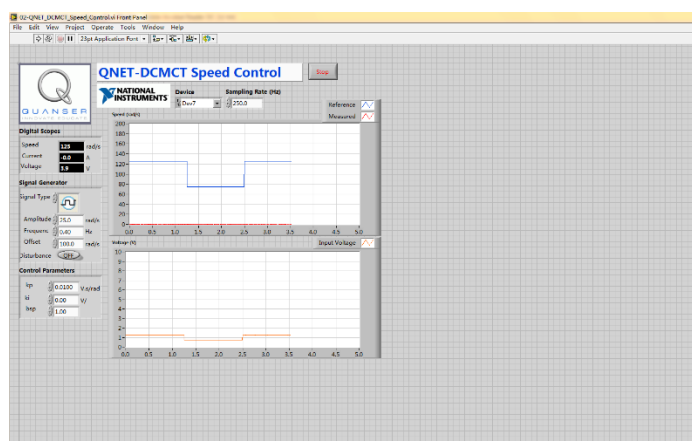
第二次迭代: $K = 21.38$, $\tau = 0.128$

可以看出，实际阶跃响应和理论阶跃响应曲线在稳态处存在一定误差。修改 K 的值尽量使两曲线接近，最终修改后的结果为 $K=21.38$, $\tau=0.128s$ ，则直流电机模型为：

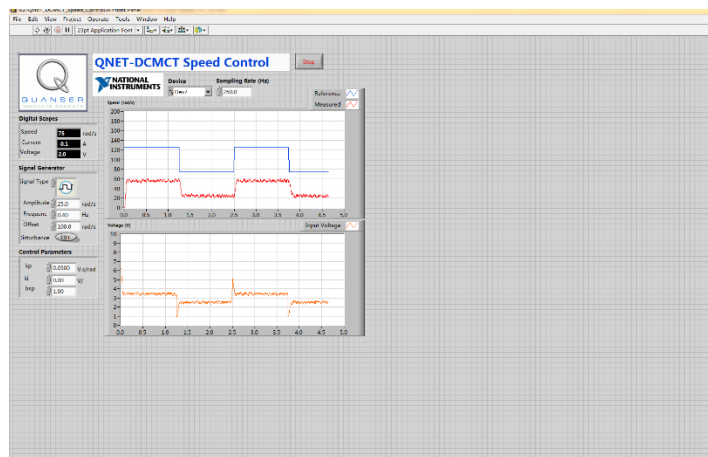
$$\frac{21.38}{0.128s + 1}$$

2、速度控制 PI

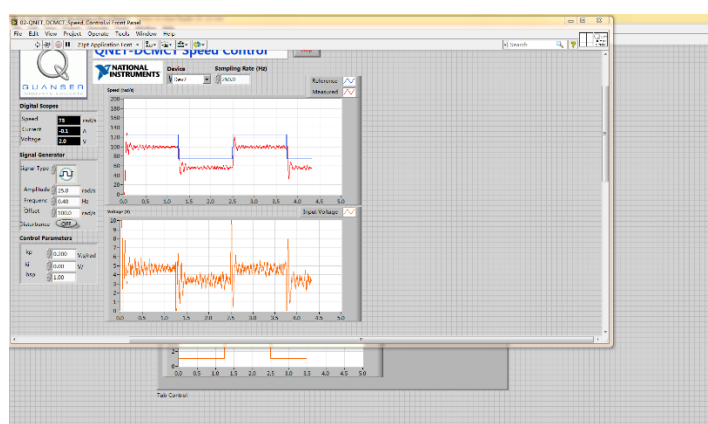
- 1) 将 bsp 设为 1，增减 K_p 并取三个值（大、中、小）截图，讨论分析 K_p 的作用



($K_p = 0.01$)



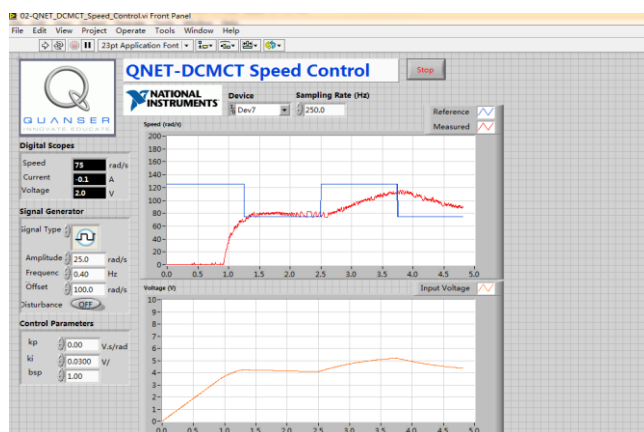
($K_p = 0.05$)



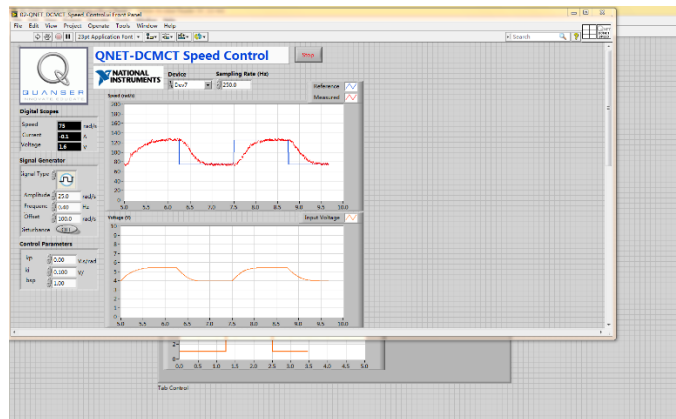
($K_p = 0.2$)

K_p 分别取 0.01, 0.05, 0.2 响应曲线如以上。可以看出 K_p 的作用为：增大 K_p ，系统的响应速度增加，稳态误差减小；但是 K_p 增大时，系统的稳定性下降。

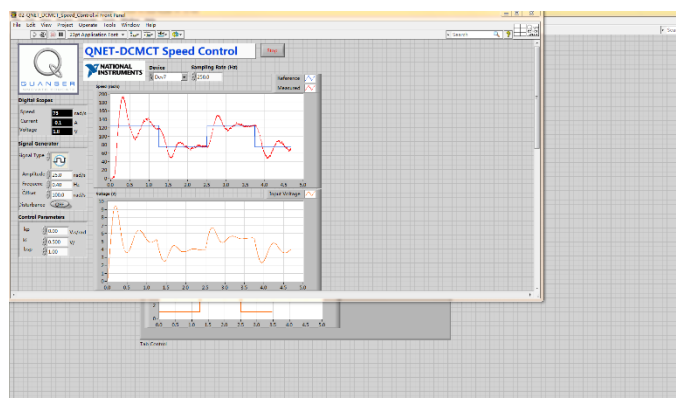
2) 将 $K_p=0$ ，增减 K_i 并取三个值（大、中、小）截图，讨论分析 K_i 的作用



($K_i = 0.03$)



($K_i = 0.1$)



($K_i = 0.5$)

K_i 分别取 0.03, 0.1, 0.5, 响应曲线如以上。可以看出 K_i 的作用为：消除稳态误差，但会使系统的响应速度下降。且增大 K_i 会使系统的调节时间增加，系统稳定性下降。

3) 二阶系统给定 $\xi=0.75$ 、 $\omega=16$ ，计算理论上的峰值和上升时间。

$$\text{理论峰值: } y(t_p) = 50 * (1 + e^{\frac{-\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}) = 51.419(\text{rad/s})$$

$$\text{理论上升时间: } t = -\frac{\pi - \theta}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} = 0.229(\text{s})$$

4) 根据 ξ 、 ω 计算 K_p 、 K_i (见 control guide P41) 并输入系统测量实验峰值和上升时间，并与理论值比较，分析误差原因。

根据公式：

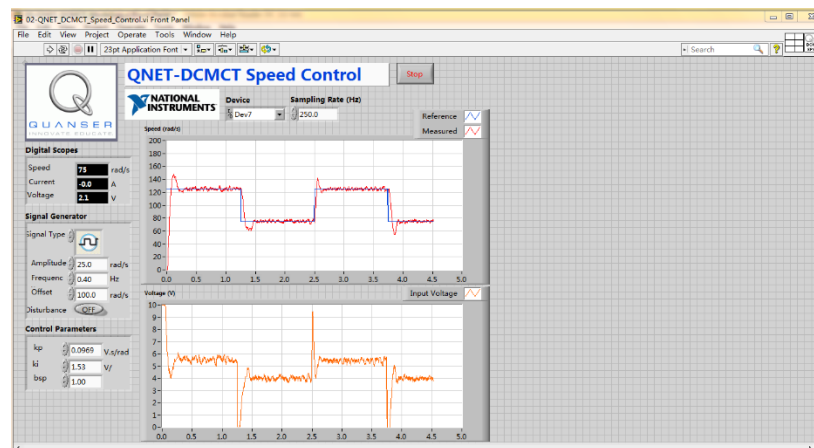
desired characteristic equation in [0.15] min

$$k_p = \frac{-1 + 2\zeta\omega_0\tau}{K}$$

and

$$k_i = \frac{\omega_0^2\tau}{K}$$

计算得到： $K_p = 0.0969$, $K_i = 1.533$, 其响应曲线如下图所示：



实际峰值为：71.8 (rad/s)，实际上升时间为：0.12s

实际峰值大于计算理论峰值，实际上升时间小于理论上升时间。产生误差的原因：二阶系统给定理论参数与电机实际模型不符，电机运行过程中含有扰动，电机老化，控制信号与设定值不完全相同等原因。感觉我们这次做的实验误差还是稍微大了一些，有可能是机器和人为因素共同造成的结果。

5) 分析 ξ 、 ω 大小对系统的影响

1、 ξ （阻尼比）的大小会影响系统的过渡过程以及稳态性

能。阻尼比越大，系统的过渡过程越快，但是可能会牺牲系统

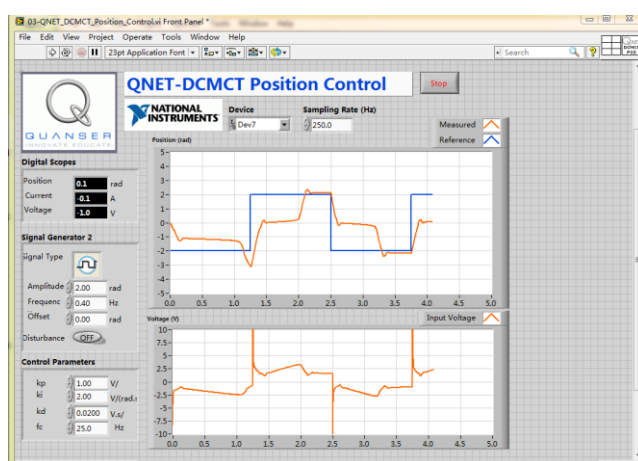
的稳态性能。阻尼比越小，系统的过渡过程越慢，但是系统的稳态性能可能会更好。

2、 ω （固有频率）的大小决定了系统振荡的快慢。固有频率越大，系统的振荡周期越短，振幅变化越快。固有频率越小，系统的振荡周期越长，振幅变化越慢。

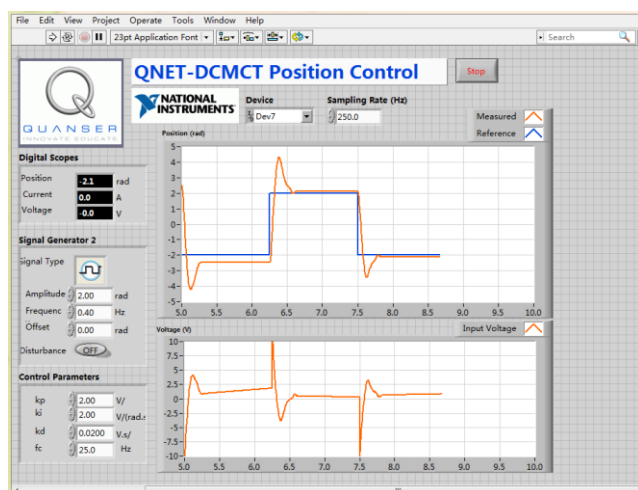
3、位置控制 PID

1) 固定 K_i 、 K_d ，增减 K_p 并取三个值（大、中、小）截图，讨论分析 K_p 的作用。

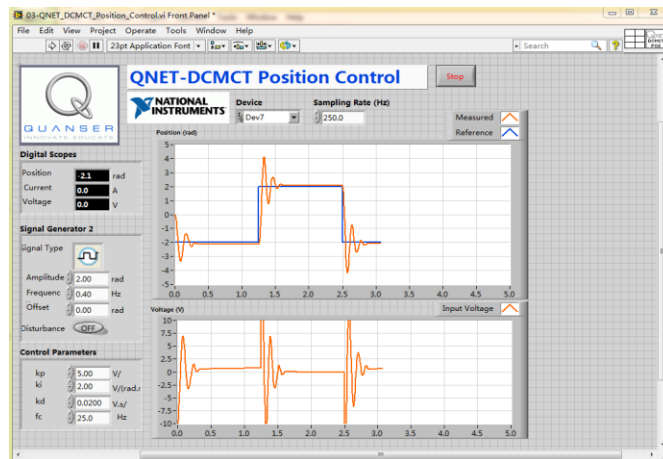
固定 $K_i = 2$ ， $K_d = 0.02$



($K_p = 1$)



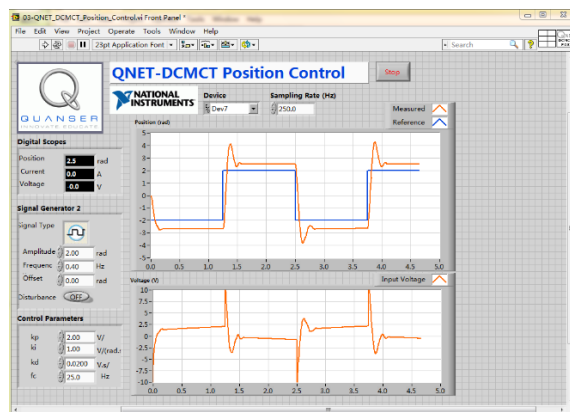
($K_p = 2$)



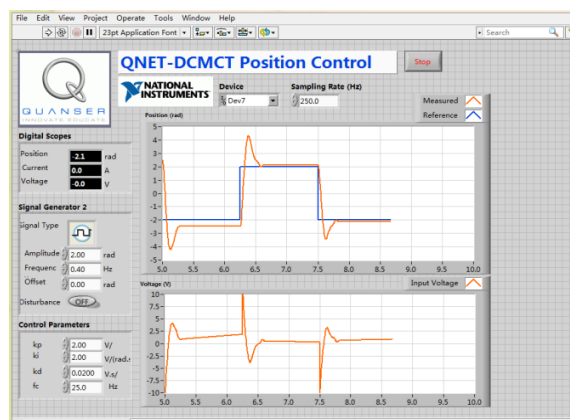
($K_p = 5$)

K_p 的作用：增大 K_p ，系统响应速度增快，调节速度加快，并可减小稳态误差；但比例系数过大会增大超调，使动态性能变差，甚至导致系统不稳定。

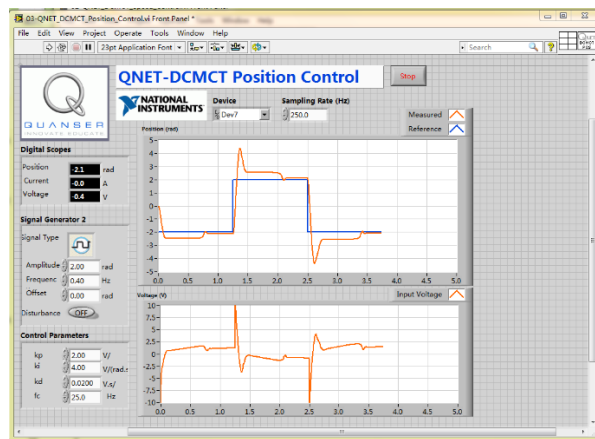
2) 固定 $K_p = 2$ 、 $K_d = 0.02$ ，增减 K_i 并取三个值（大、中、小）截图，讨论分析 K_i 的作用。



($K_i = 1$)



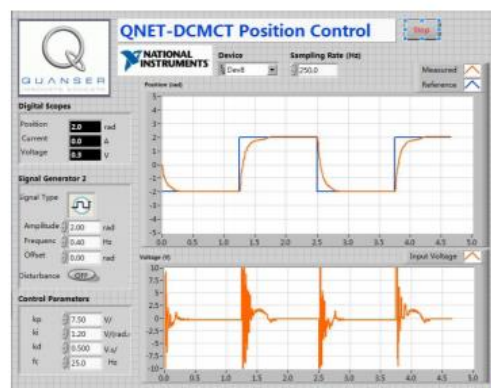
($K_i = 2$)



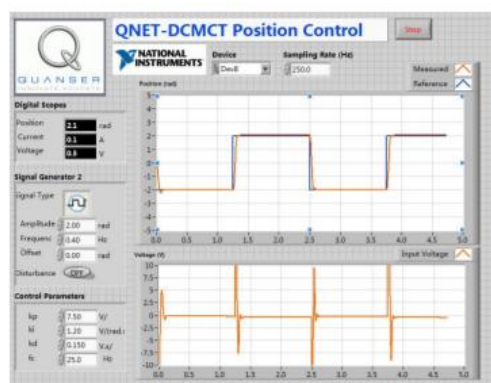
($K_i = 4$)

K_i 的作用：消除稳态误差，提高控制精度，但会时响应速度变慢。由于电机系统的实际情况影响，以及固定 K_p 、 K_d 选取的问题，本次实验中改变 K_i 的值，响应曲线并没有很大的区别。

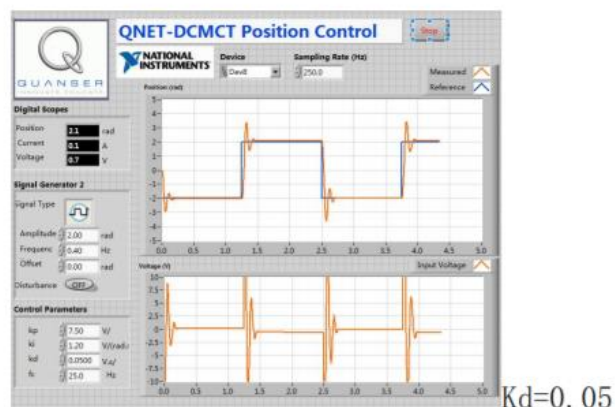
3) 固定 $K_p = 7.5$ 、 $K_i = 1.2$ ，增减 K_d 并取三个值（大、中、小）截图，讨论分析 K_d 的作用。



$K_d = 0.50$



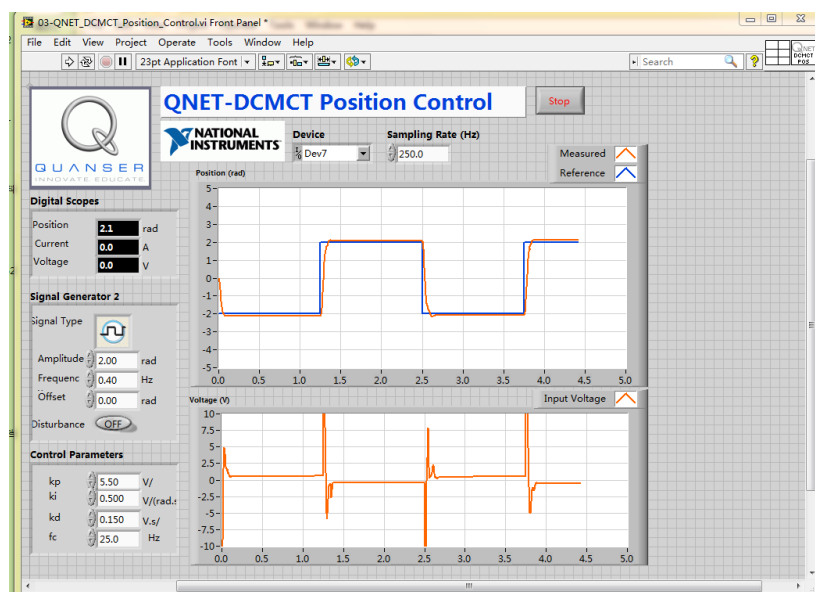
$K_d = 0.15$



K_d 的作用：抵消系统滞后因素的影响，增快系统响应速度。增大 K_d ，系统的超调量会减小。但微分控制对噪声干扰较为敏感，当 K_d 过大，系统可能受噪声干扰较大。

4) 调整 K_P 、 K_i 、 K_d ，取一组你认为最优的值，记录该值与电机曲线。

最优： $K_p=5.50$ ， $K_i=0.50$ ， $K_d=0.15$ ，电机曲线如下：



4、实验心得与建议

心得：本次实验实际操作了电机加深了对知识的理解，以及

知道了如何在实际的环境中应用这些知识。之前在课上学习了相关的理论知识，但是有时仍比较不能理解清楚具体的模型建立、控制过程和方法，经过这次的实体实验，我对其有更加深刻的理解，特别是一些在实验过程中出现的干扰、噪声等，这些是在理论教学和 **matlab** 仿真中难以接触到的。因此，这些因素的增加也增强了自己的对不同情况下的分析、判断能力，很好的提升了自己。而且，在实验的过程中，可以发现每组的数据和实验结果是基本不相同的，这取决于不同小组的电机本身的误差以及参数性能不同，很好的体现了在真实环境中系统的复杂性和多样性。

建议：这次实验课的体验较好，整体来说能够让自己的能力得到一定的提升，或许有的共性的问题、难点老师再可以统一分析和讲解一下。希望可以多做几次相关的实验，以提升学生的能力。