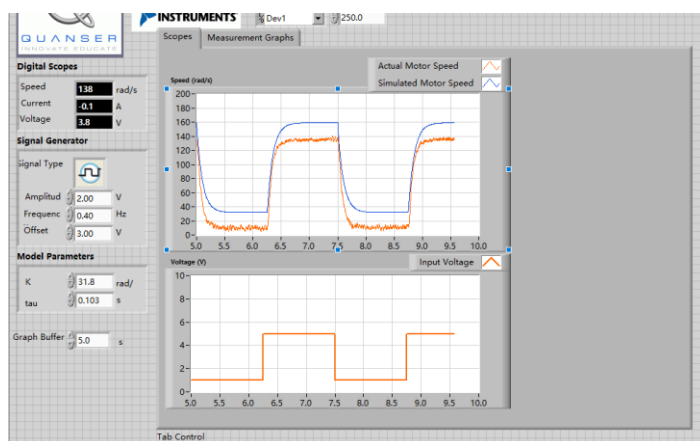


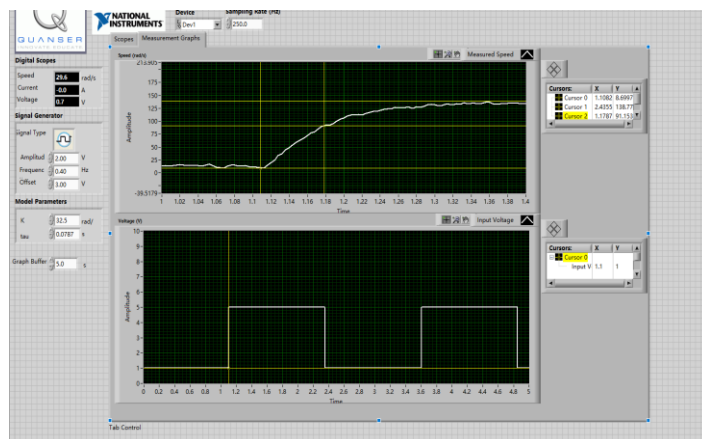
## 电机运动控制实验

### 一、 纯 P 调节

1. 在设定参数下，对系统的阶跃响应进行测试，实验结果如下图所示：



2. 使用光标对虚拟示波器上的曲线进行定量测量，记录数据如下表所示，并计算得 K 值



$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = 32.5$$

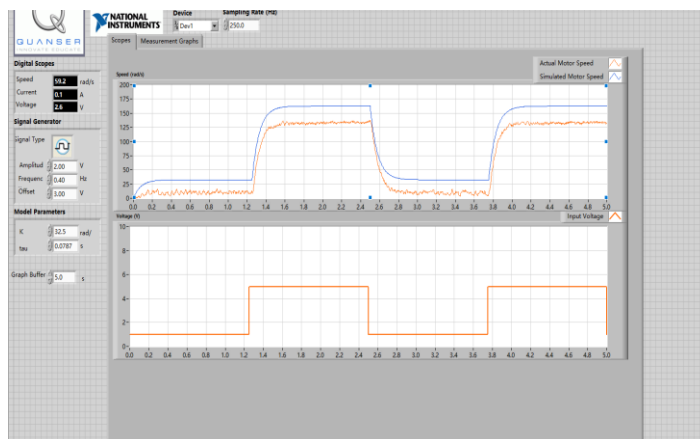
稳定电机速 度	初始电机速 度	阶跃幅值	计算 K 值
73.7 rad/s	8.7 rad/s	2.0 V	32.5

3. 根据 $\tau$ 的计算公式，类似可求得系统的 $\tau$ 。

$w_m$	$t_0$	$t_1$	$\tau$
46.825 rad/s	1.1000 s	1.1787 s	0.0787

$$\tau = t_{0.632} - t_0 = 0.0787$$

4. 基于以上计算得到的系统参数，对实际与模拟的系统进行实践，效果如下图所示：



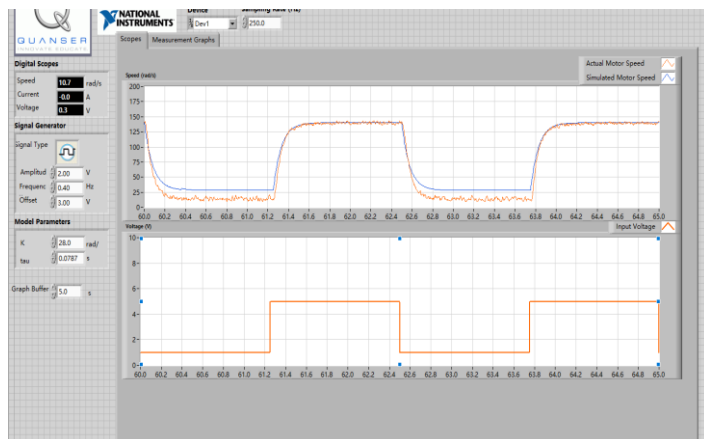
我们可以观察到模拟的系统与实际系统相比，图形形状十分相似，说明时间常数  $\tau$  计算相近，而阶跃幅值相差较大，说明我们的  $K$  值计算有明显的偏差。

因而，我们可以猜测，本次误差主要来自于带载的阻力，使得实际系统的真实转速幅值始终比模拟系统低一些。

5. 调节仿真系统的参数，经过上面的讨论，我们主要调节了仿真系统的  $K$  值，使得两个曲线尽可能的接近。

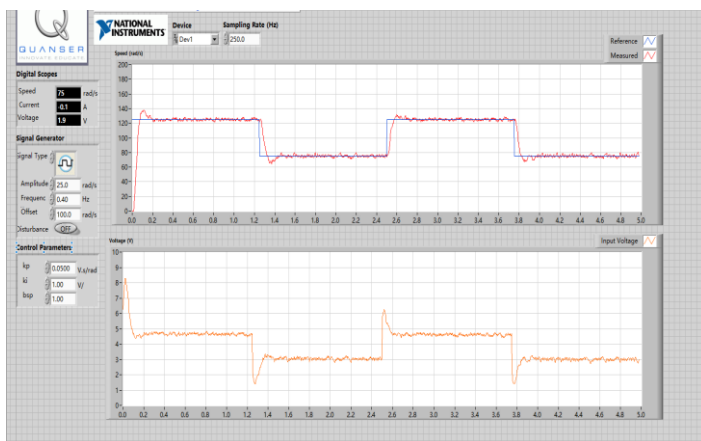
调试结果与最终效果图如下所示：

阶跃计算 $K$	阶跃计算 $\tau$	优化后的 $K$	优化后的 $\tau$
32.5	0.0787	28.0	0.0787



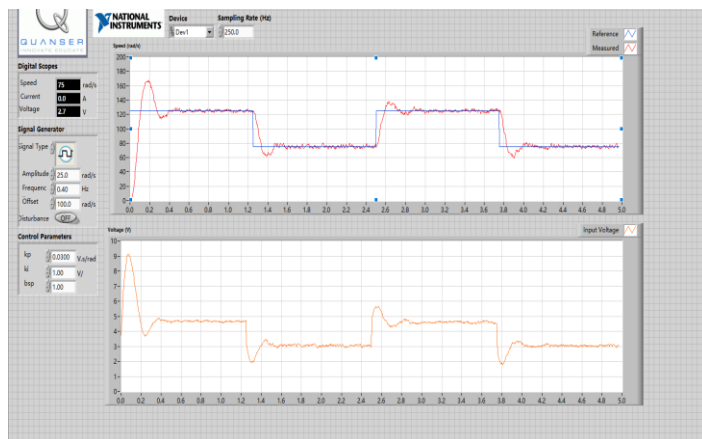
## 二、 PI 调节

1. 在设定参数下，观察系统的输出，可以看到，使用 PI 调节的系统有较好的稳定性与动态性能。

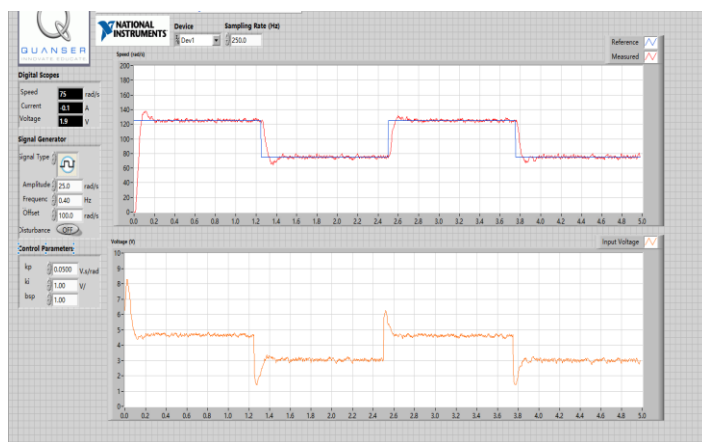


2. 逐渐调节  $K_p$  值，探究  $K_p$  值对控制系统的影响。

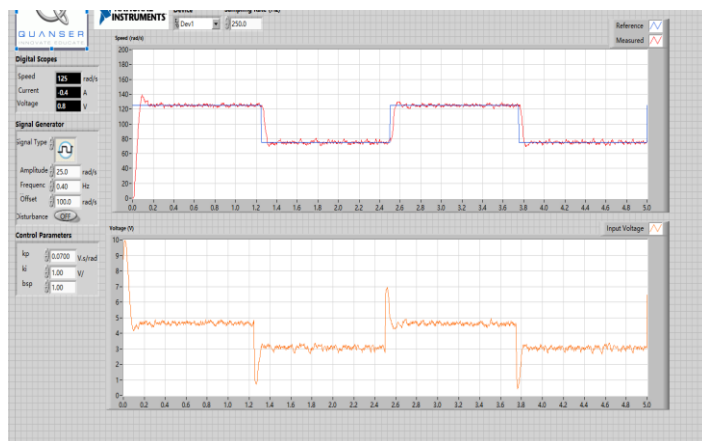
通过不断增加或减少  $K_p$  值，我们可以发现，合适的  $K_p$  值可以起到很好的稳定性和动态性能，但当  $K_p$  值过大时，系统虽然调节速度降低，但震荡大为增加，稳态性能较差；当  $K_p$  值过小，又系统调节时间又过长，动态性能较差。因而，只有合适的  $K_p$  值才能起到合适的调节作用，这也彰显了动态性能与稳态性能的矛盾。



$K_p = 0.03$



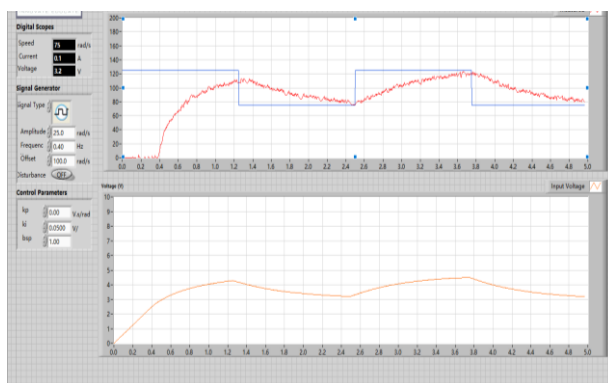
$K_p = 0.05$



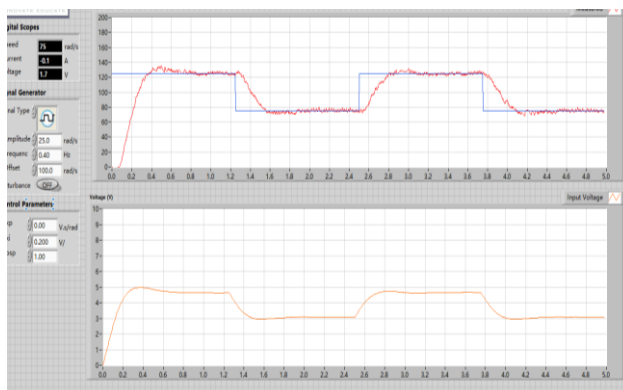
$K_p = 0.07$

### 3. 逐渐调节 $K_i$ 值，探究 $K_i$ 值对控制系统的影响。

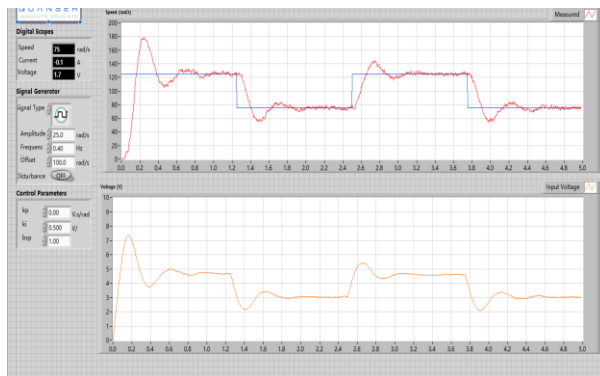
通过不断增加或减少  $K_i$  值，我们可以发现，当  $K_i$  值过大时，系统震荡严重，稳定性极差，当  $K_i$  过小时，系统调节时间较长，动态性能较差，因而选择合适的  $K_i$  也是极为重要的。



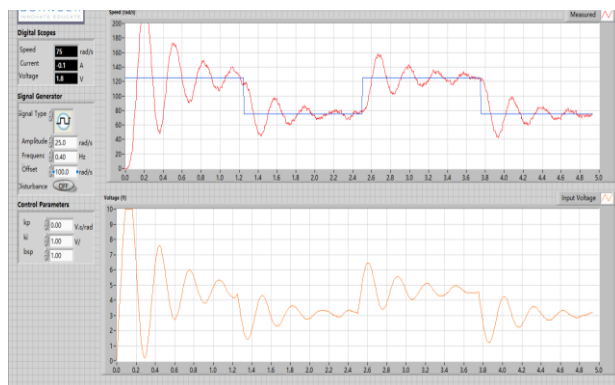
$K_i = 0$



$K_i = 0.2$



$K_i = 0.5$



$K_i = 1.0$

4. 对于给定系统，计算理想的  $t_p$  与  $PO$ 。

$$PO = 100e^{\left(-\frac{\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} = 2.84$$

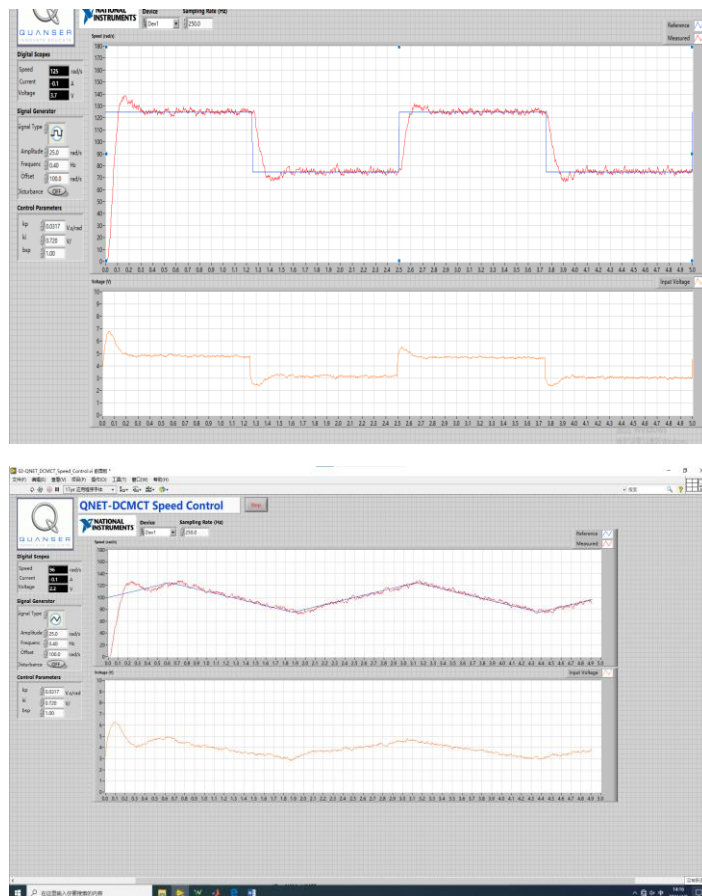
$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}} = 0.30$$

5. 根据公式计算初步的  $k_i$  与  $k_p$ ，并将它带入

$$k_i = \frac{2\xi\omega_0\tau - 1}{k} = 0.0317$$

$$k_p = \frac{\omega_0^2 \cdot \tau}{k} = 0.719$$

6. 调速效果图如下所示

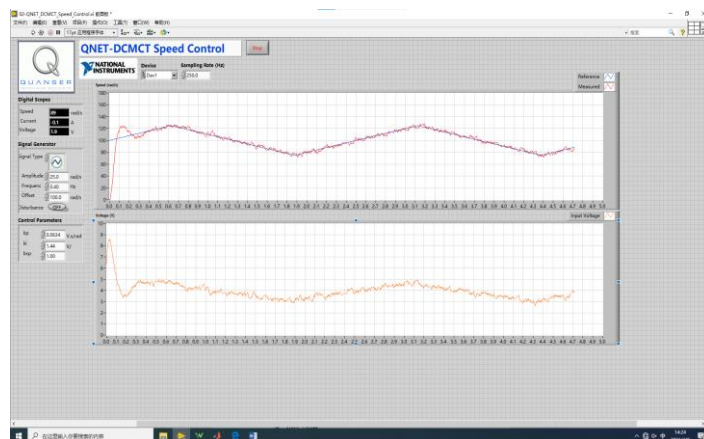
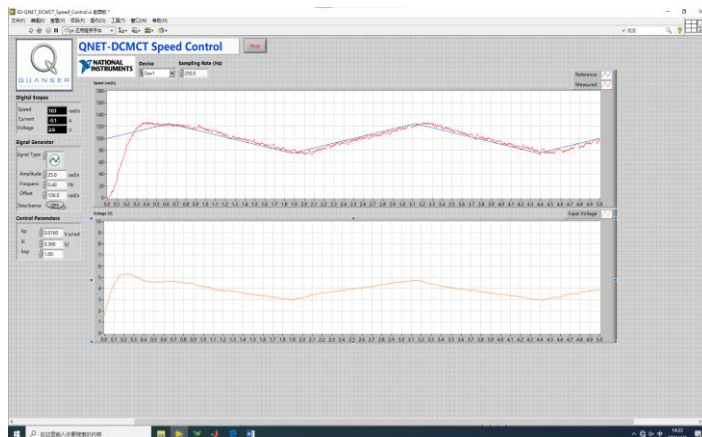


7. 测量此时实际  $t_p$  与  $PO$ 。

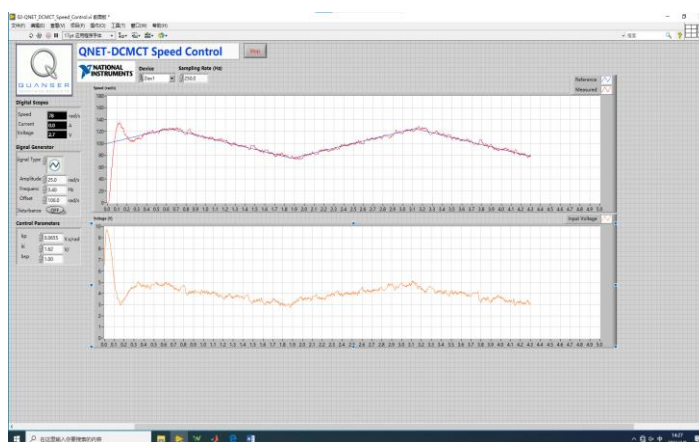
$$t_p = 0.21s \quad PO = 13.2\%$$

与理论值偏差较大，存在一定的误差。

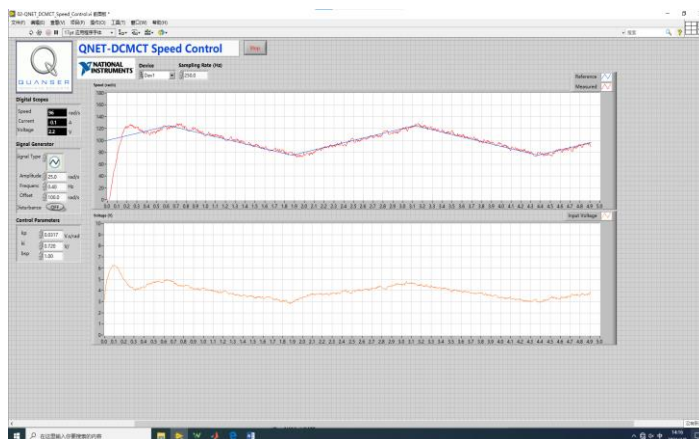
8. 探究 $\xi$ 的对实验的影响，从下图可以看出 $\xi$ 变大时，调节速度变快，超调变大，反之调小时，动态性能变差，稳态性能变好。



9. 探究 $w_0$ 的对实验的影响，从下图可以看出 $w_0$ 变大时，调节速度变快，动态性能变好。

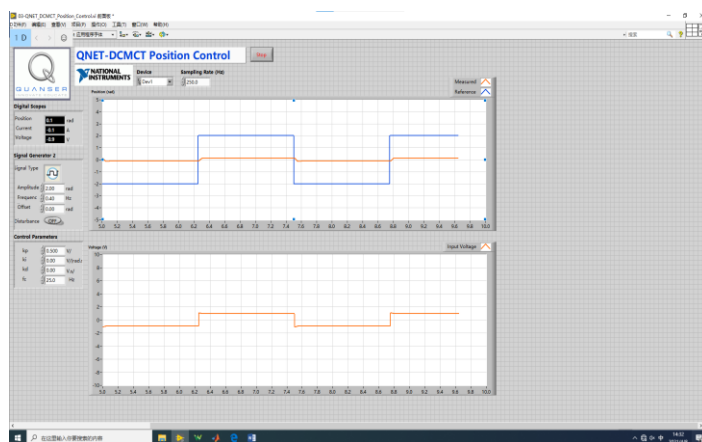




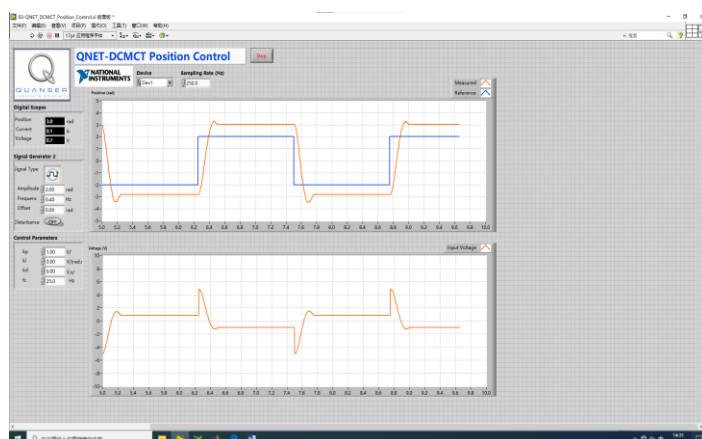


### 三、 PD 调节

1. 使用要求的参数对 PD 调节进行设置与实验，实验效果如下图所示。当  $k_p$  较小时，调节效果很差，增大  $k_p$  使得系统调节速度加快，使得实际系统具有一定的跟随性，调节速度较快，但当  $k_p$  大到一定程度后，会产生严重震荡，且超调严重。

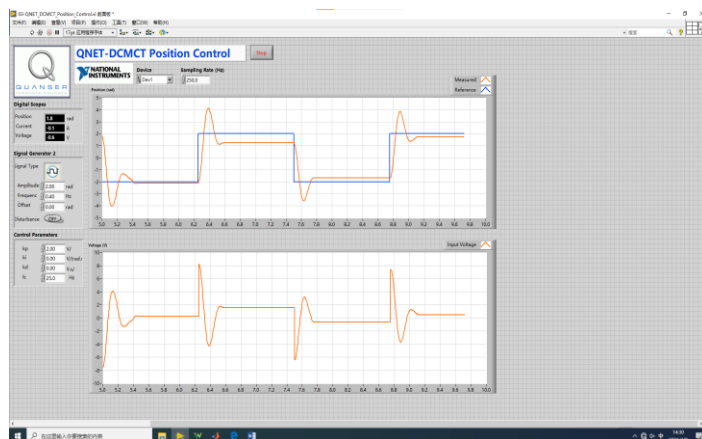


$$K_p = 0.5$$

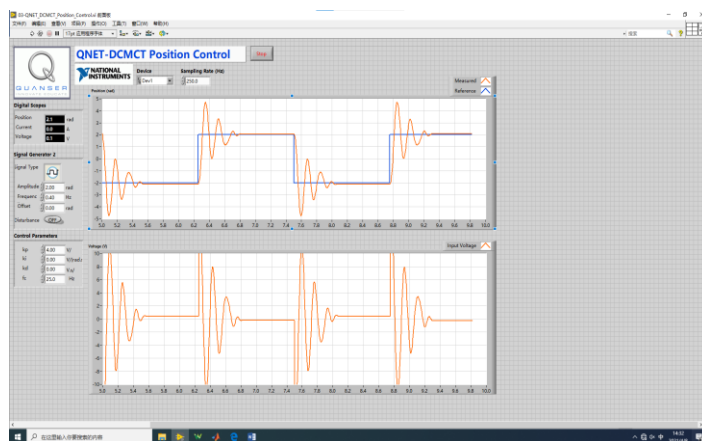




$K_p = 1$

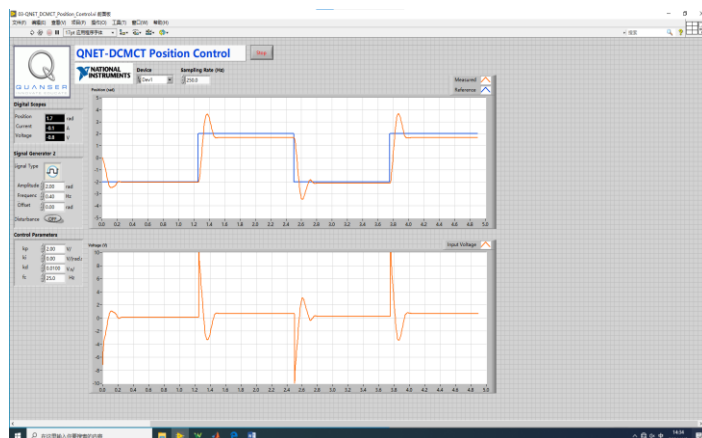


$K_p = 2$

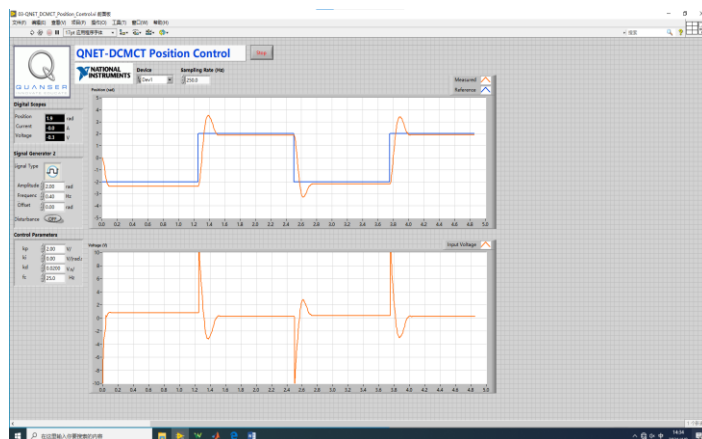


$K_p = 4$

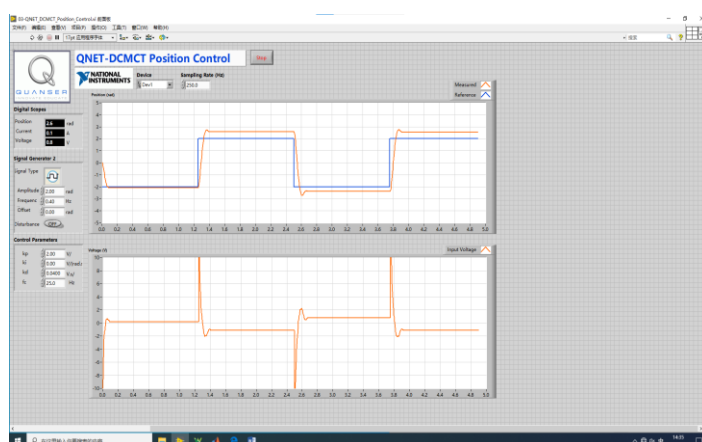
2. 调节  $K_d$ ，效果图如下所示,可以看到合适的  $K_d$  可以减小超调，但仍存在稳态误差。



$K_d = 0.01$



$K_d = 0.02$



$K_d = 0.04$

3. 按照设定的参数求解理论峰值时间与超调量。

$$PO = 100e^{\left(-\frac{\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} = 9.48$$

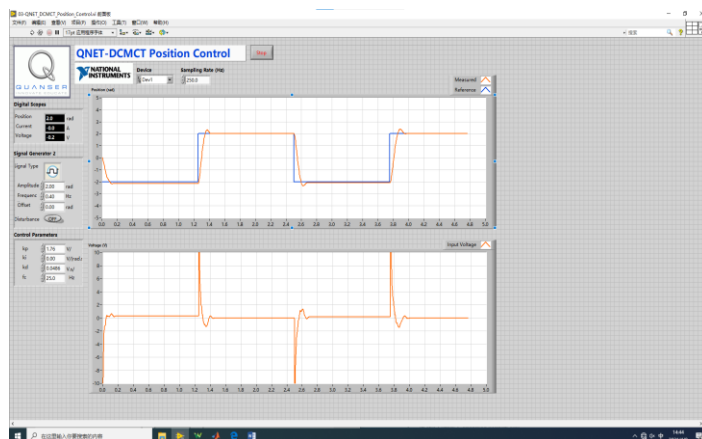
$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}} = 0.16$$

4. 根据公式计算初步的  $k_d$  与  $k_p$ , 并将它带入

$$k_d = \frac{2\xi\omega_0\tau - 1}{k} = 0.0486$$

$$k_p = \frac{\omega_0^2 \cdot \tau}{k} = 1.76$$

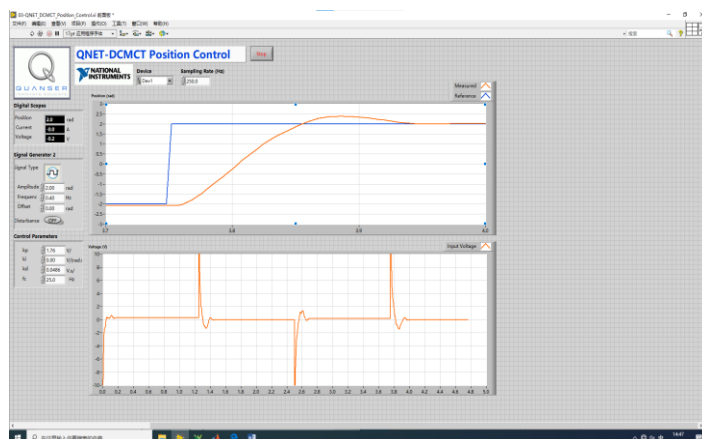
5. 使用上述参数, 解得的效果图如下所示:



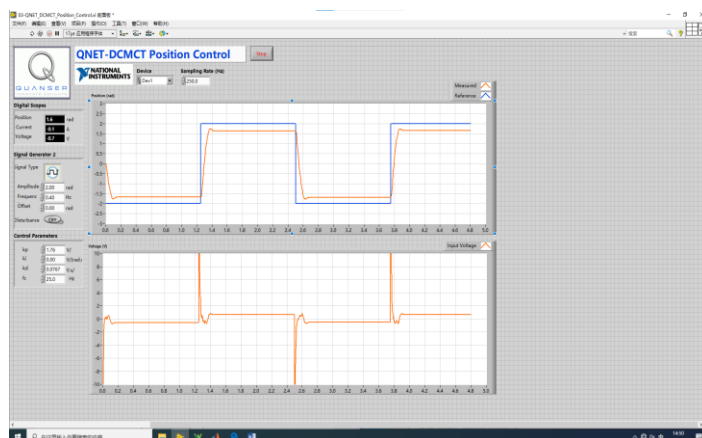
6. 对上述实验的实际峰值时间与超调量进行测量如下所示，与理论值相比误差很小，基本达到了实验的要求，存在的误差可能是由于负载以及测量的误差。

$$PO=9.76$$

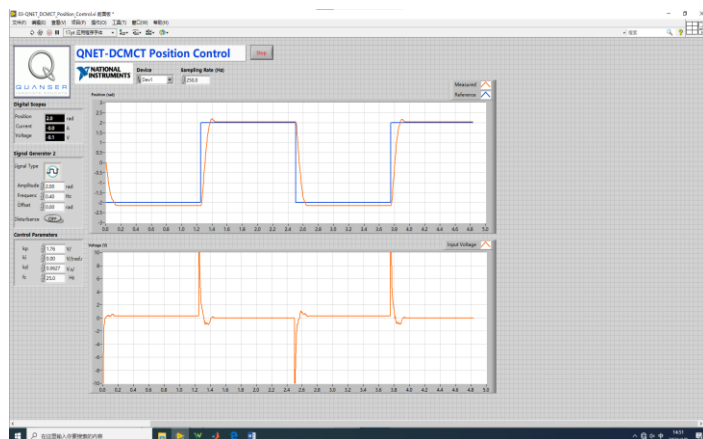
$$t_p = 0.12s$$



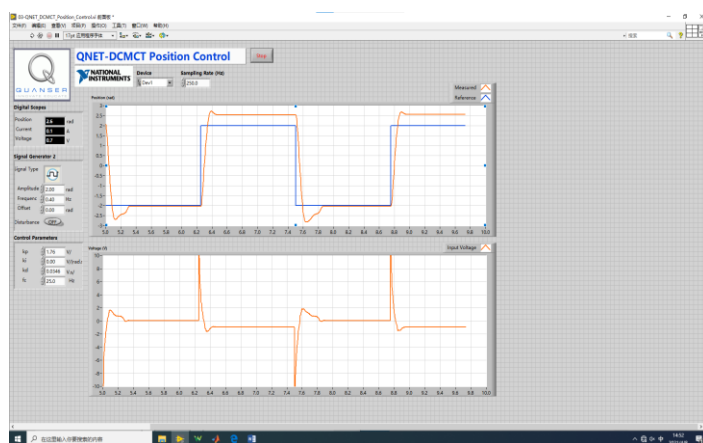
7. 调节不同的 $\zeta$ ，随着 $\zeta$ 的增大，系统的超调量逐渐减小，峰值时间变大，调节速度变慢，超调量变小，稳态性能提高。



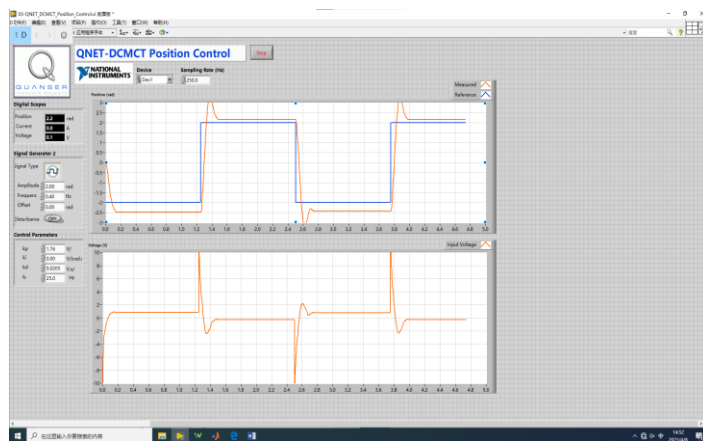
$$\zeta = 0.8$$



$$\zeta = 0.7$$

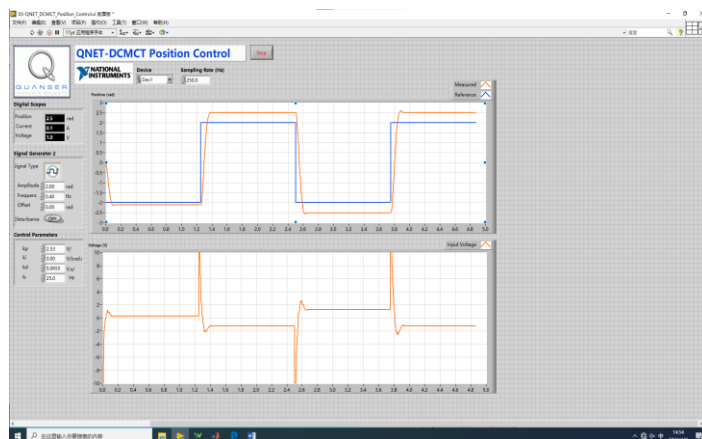


$$\zeta = 0.5$$

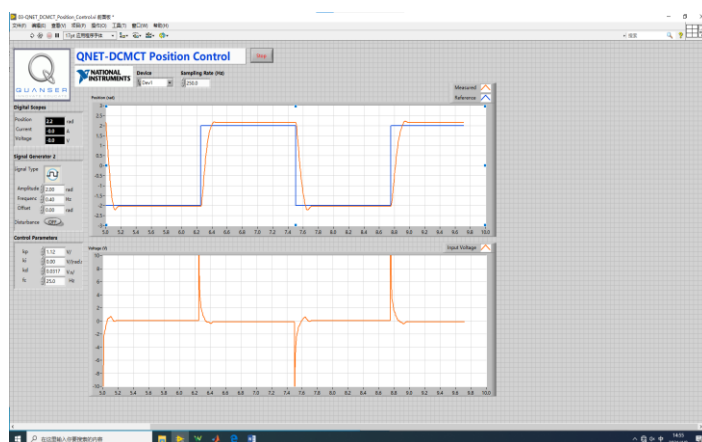


$$\zeta = 0.4$$

8. 调节 $w_0$ 如下图所示，可以看到，增大 $w_0$ 后超调时间变小，系统动态性能加快，稳态性能变化不大。



$$w_0 = 30$$



$$w_0 = 20$$

#### 四、 实验总结

在本次实验中，我们学习了使用 QNET 2.0 HVAC 实验板进行 PID 参数整定实验。

本次实验系统作为典型的电机控制系统，我们先后尝试了 P、PI、PD 调节方法，发现这些方法中在合适的参数下，基本都有较好的调节效果，其中以 PD 调节最为快速、最为精准。

通过这次实验，我回顾了运动控制与自动控制原理的课程知识，并对实验验证了 PID 这一经典控制方法的有效与可靠，对于运动控制系统有了进一步的理解与感悟。