

实验四：前馈-反馈控制系统实验

实验目的

- 1、学习前馈控制系统工程整定方法。
- 2、研究前馈补偿器参数对控制过程的影响规律。
- 3、掌握前馈——反馈控制系统的特点和整定、投运方法。

实验要求

- 1、以第三水柱液位作被控参数、第二水柱液位作前馈信号，搭建前馈——反馈控制系统。
- 2、观察、记录单纯反馈和前馈——反馈系统的控制过程。

实验原理

反馈控制系统中，反馈按偏差控制。即在干扰的作用下，被控量先偏离给定值，然后调节器才按偏差产生控制作用去抵消干扰的影响。如果干扰不断施加，则系统总是跟在干扰作用后面波动，从而不可避免的存在稳态位置跟踪误差。前馈控制是按扰动量进行补偿的**开环控制**，即当系统扰动出现时，按照扰动量的大小直接产生校正作用。前馈控制在理论上可以完全消除扰动引起的偏差。

前馈控制的结构图如下图。

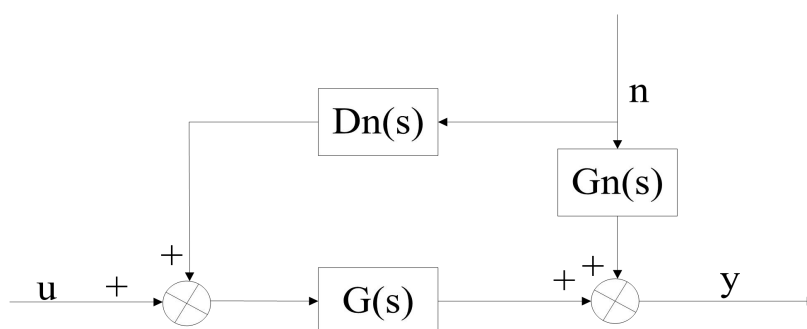


图4-1 前馈控制系统图

$G_n(s)$ 是被控对象扰动通道的传递函数， $D_n(s)$ 是前馈控制器的传递函数， $G(s)$ 为被控对象控制通道传递函数， n 、 u 、 y 分别为扰动量、控制量和输出量。若使前馈控制作用完全补偿扰动作用，则：

$$D_n(s)G(s) + G_n(s) = 0$$

$$D_n(s) = -G_n(s)/G(s)$$

在实际应用中，因为前馈控制为一个开环系统，因此常常采用反馈+前馈的复合控制方式，这样既有前馈控制及时、又有反馈控制精确的特点。

从理论上讲，前馈调节能依据干扰值的大小，在被调参数偏离给定值之前进行控制，使被调量始终保持在给定值上。而实现完全补偿，在很多情况下只有理论意义，实际上做不到；同时，在工业对象中，存在许多扰动因素，我们只能选择一两个主要的扰动进行补偿，而其余的扰动仍会使被调量发生偏差。

前馈-反馈控制系统将前馈与反馈结合起来，选择对象中主要的一些干扰作为前馈信号，对其它引起被调参数变化的各种干扰则采用反馈调节系统来克服，从而充分利用了这两种调节作用的优点，使调节质量进一步提高。

前馈-反馈控制系统的整定，一般先反馈，后前馈，且二者基本独立。静态前馈不考虑干扰作用被控变量的动态过程，仅保证系统在稳态的补偿作用。则静态前馈控制器的传递函数： $D_n(s) = -K_{ff}$ ，具有比例特性， K_{ff} 为对象干扰通道与控制通道的静态放大系数之比。

本次实验我们整定的前馈控制器即静态放大系数 K_{ff} ，并且选择在闭环反馈运行状态整定 K_{ff} 。

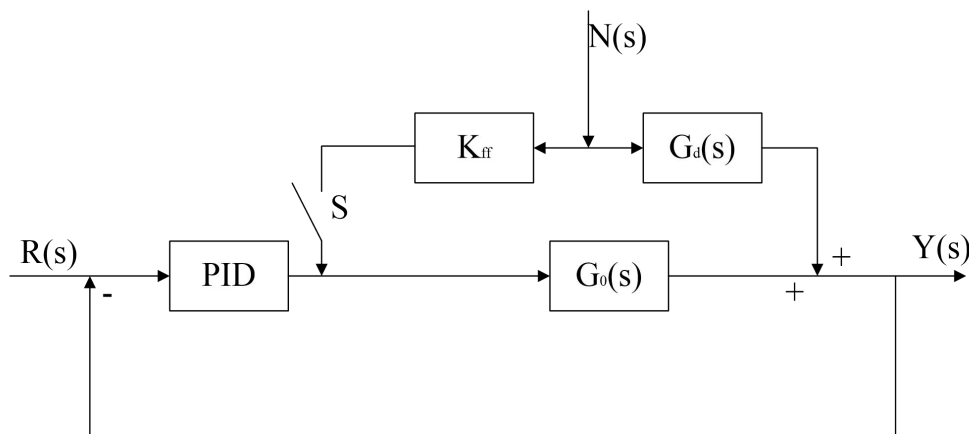


图4-2 K_{ff} 闭环整定系统框图

本实验控制程序如下图4-3所示。

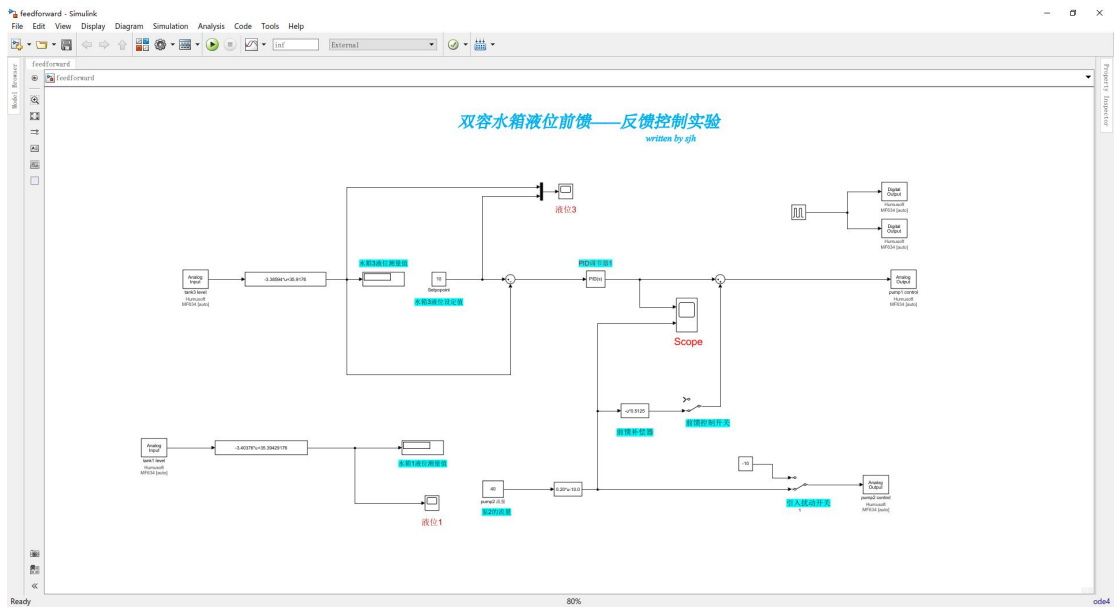


图4-3 控制程序图

实验步骤

① 开连通阀1、连通阀3和泄露阀2，关其他各阀。运行“TTS 20/feedforward.slx”将“前馈控制开关”断开，“引入扰动开关”接入扰动，即拨至下方位置，此时系统处于反馈且有扰动状态，扰动信号“泵2的流量”设置为20。如下图4-4所示。待系统稳定，记录此时的干扰变送器输出 Y_{n0} 和反馈控制器的稳态输出值 Y_{c0} 。双击示波器Scope，如下图4-5、4-6所示。 $Y_{n0}=-6$ ； $Y_{c0}=-5.253$ 。

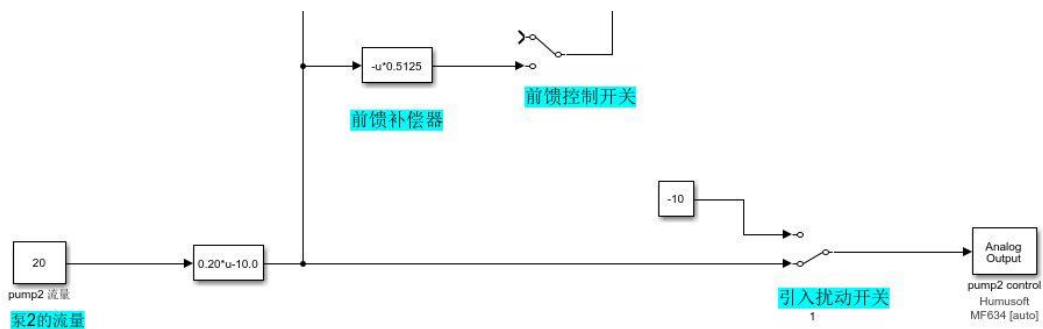


图4-4 扰动开关状态图

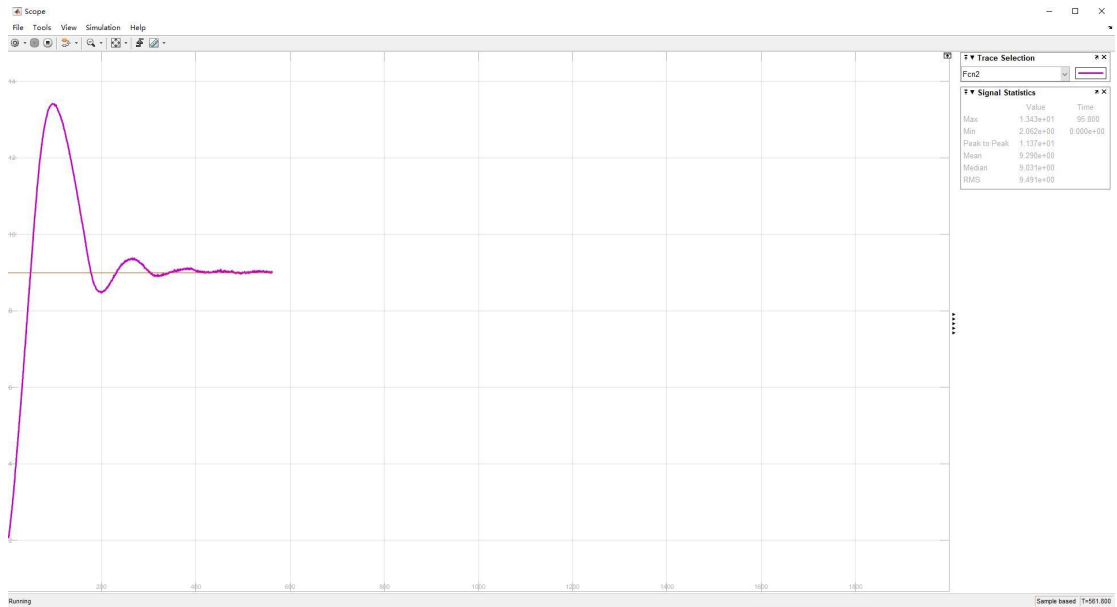


图4-5 有扰动稳态图

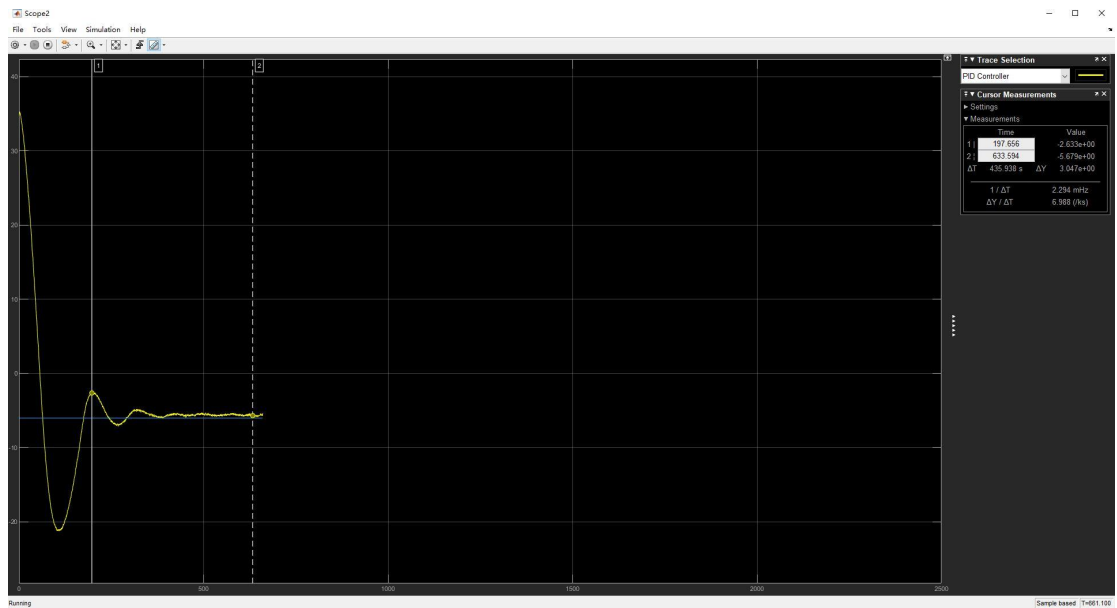


图4-6 PID输出和扰动变送器输出

② 对于干扰 n 施加一增量 Δn ，即将“泵2的流量”设置为40，如图4-7所示。等到反馈系统在 Δn 作用下，被控量TANK3液位重新回到设定值时，再记下干扰变送器的输出 Y_n 和反馈控制器的稳态输出值 Y_c 。如图4-8和4-9所示， $Y_n = -2$ ； $Y_c = -7.379$ 。

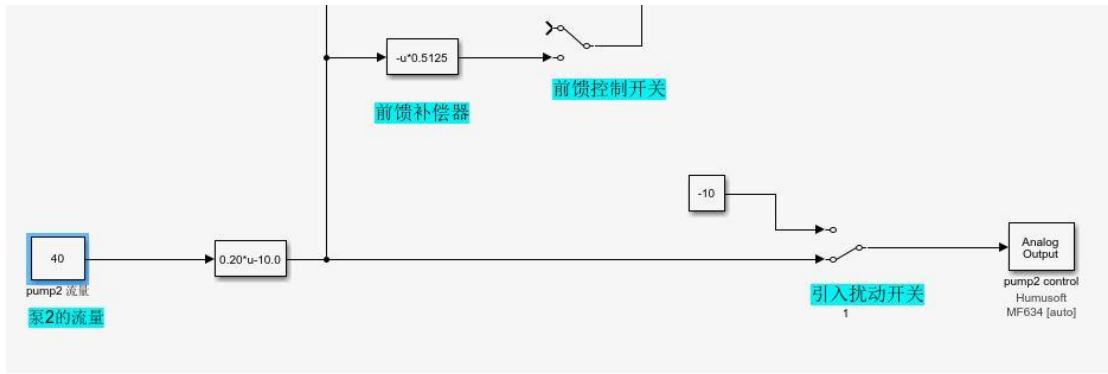


图4-7 开关状态图

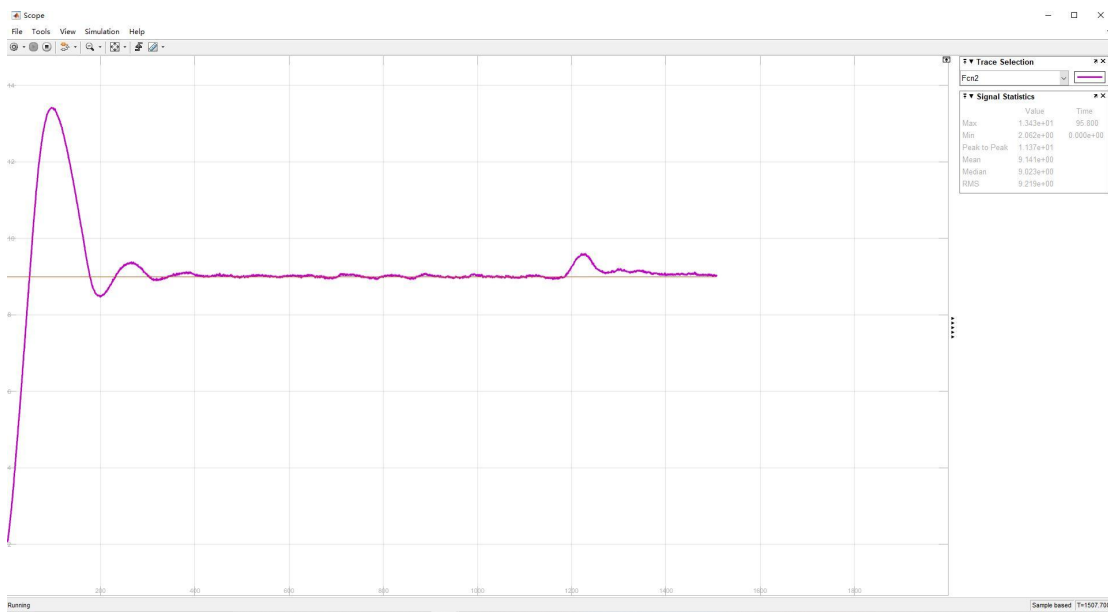


图4-8 扰动增加 Δn 后稳态图

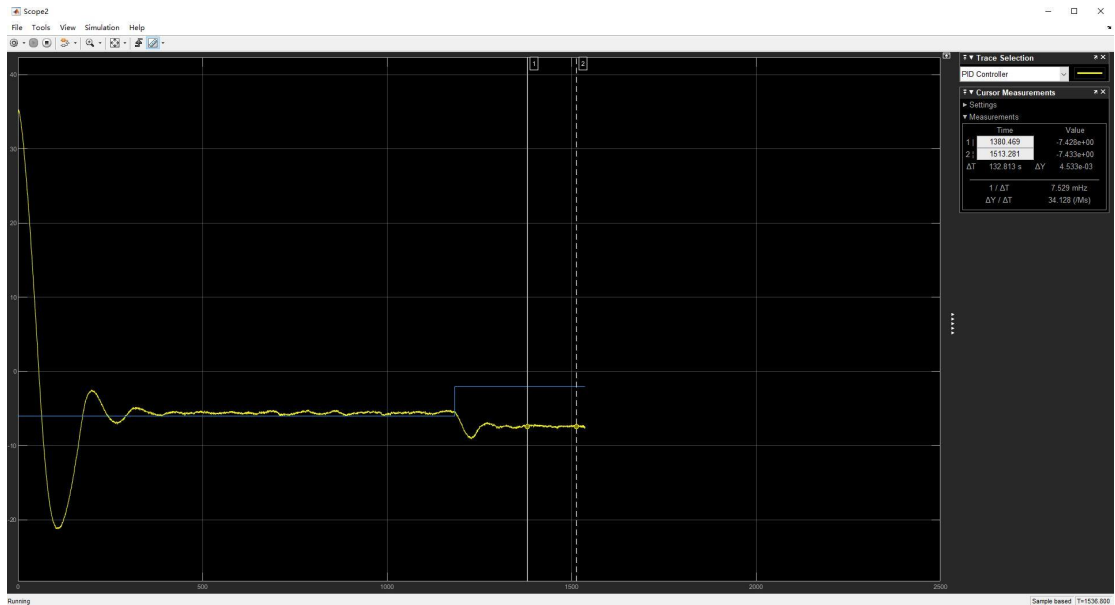


图4-9 PID输出和扰动变送器输出

③ 计算前馈控制器的静态放大系数 K_{ff} :

$$K_{ff} = -\frac{Y_c - Y_{c0}}{Y_n - Y_{n0}} = -\frac{\Delta Y_c}{\Delta Y_n}$$

由上式计算得，当前系统的 $K_{ff} = -0.5315$ 。

④ 将 $K_{ff} = -0.5315$ 设置在前馈补偿器上，并且将前馈控制开关闭合，把前馈补偿器引入到系统中使之生效，如图4-10所示。在前馈—反馈控制系统中，施加扰动 n （改变泵2的流量），观测系统的响应过程，并记录曲线。若不够理想，应适当调整 K_{ff} 的值，直到响应曲线符合要求。

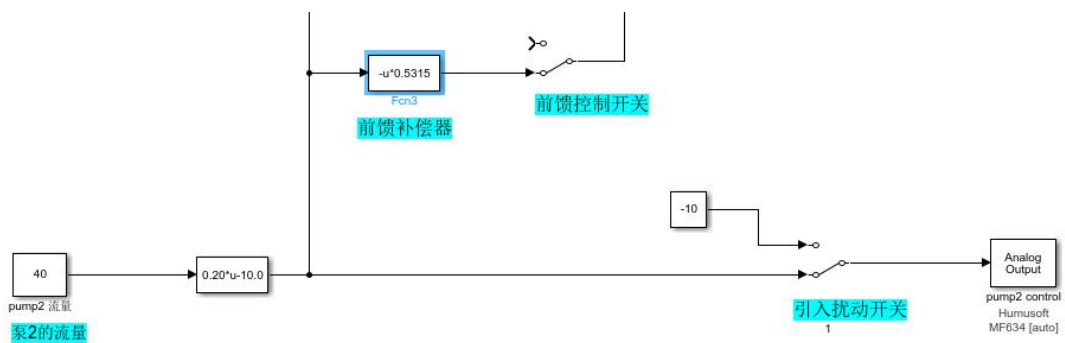


图4-10 引入前馈补偿器

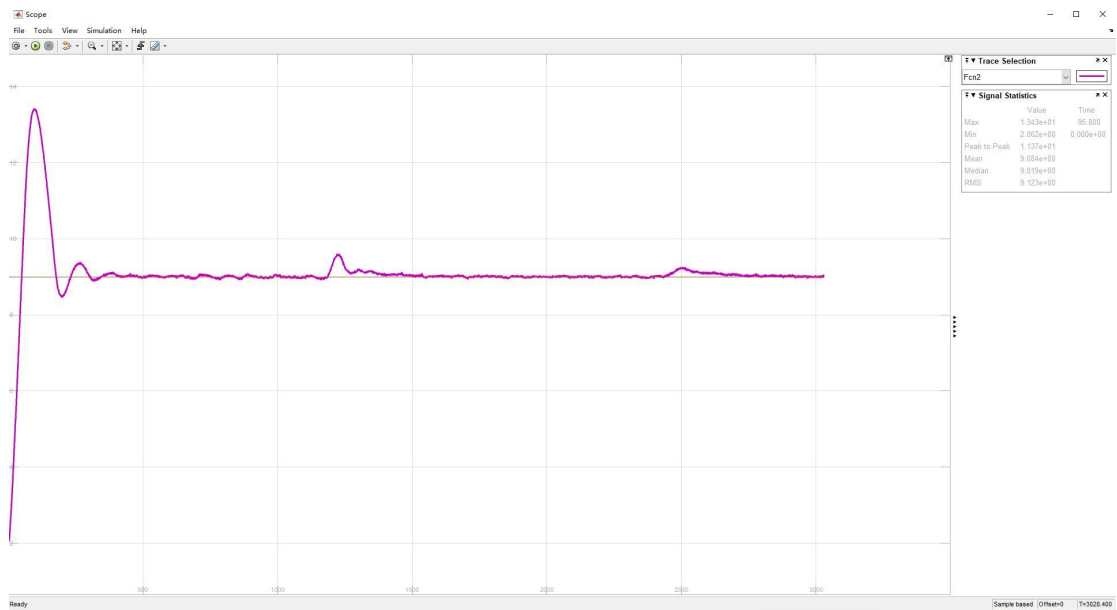


图4-11 引入前馈后 (2450s处) 的被控量变化曲线

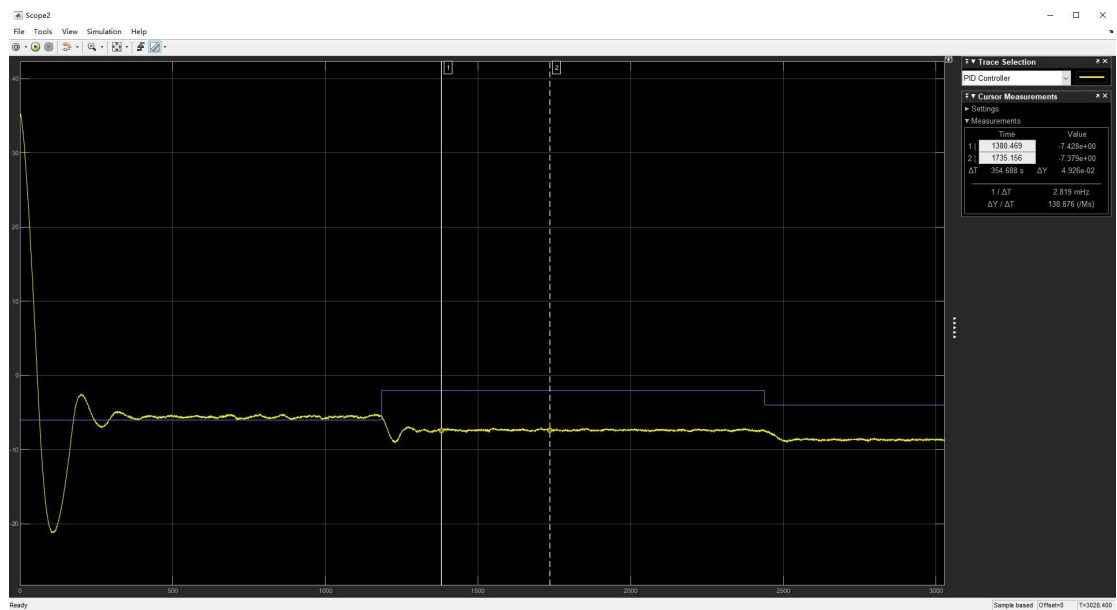


图4-12 引入前馈后 (2450s处) 的PID输出和扰动变送器输出

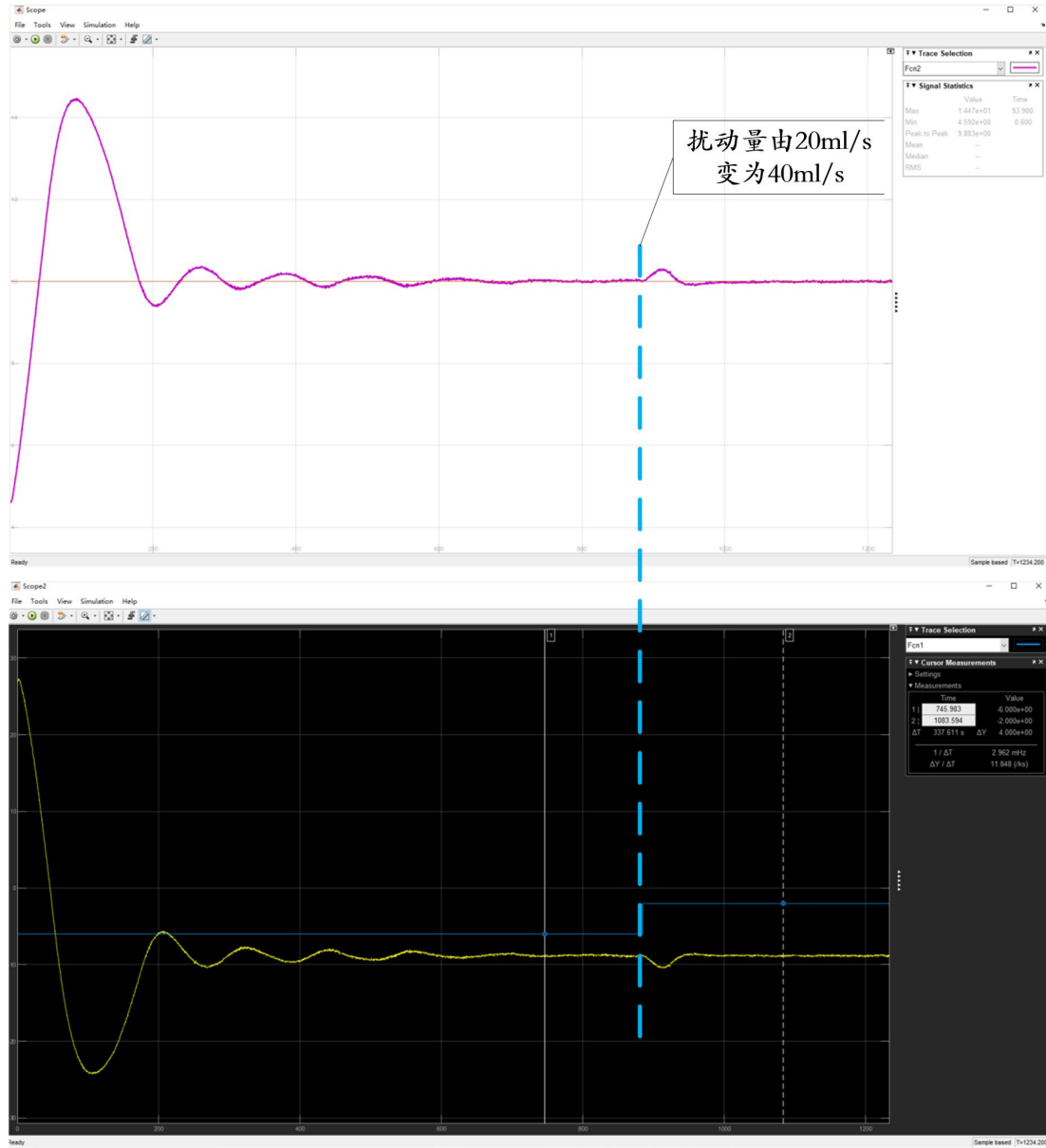
⑤ 另记录一组相同控制器参数 (PI)、无前馈控制、有相同扰动的实验曲线, 与前馈——反馈控制系统的效果做对比。

实验报告

- (1) 附实验采集曲线及参数整定结果。
- (2) 分析反馈控制系统和前馈——反馈控制系统对扰动的克服效果有什么区别？
- (3) 前馈系统中存在的问题是什么？

附录 实验结果参考曲线

$P=5.0; I=0.03; D=0$ 前馈-反馈控制响应曲线; $K_{ff} = -0.5125$



$P=5.0; I=0.03; D=0$ 单回路控制响应曲线（无前馈控制）； $K_{ff} = 0$

