



哈爾濱工業大學(深圳)
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN

过程控制系统 实验报告

专业： 自动化

实验名称： 前馈-反馈控制系统实验

实验日期： 2023年5月19日

实验与创新实践教育中心

Education Center of Experiments and Innovations

一、 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。

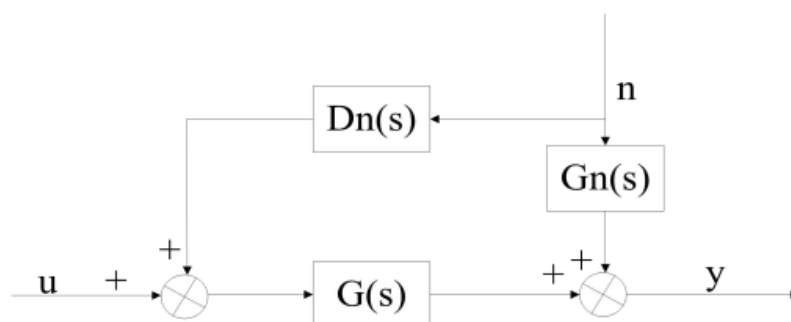


图4-1 前馈控制系统图

$G_n(s)$ 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。

二、 实验内容

(简述实验内容及操作过程)

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。 $Y_{n0}=-6$ ； $Y_{c0}=-5.253$ 。

② 对干扰 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， $Y_n=-2$ ； $Y_c=-7.379$ 。

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。

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。

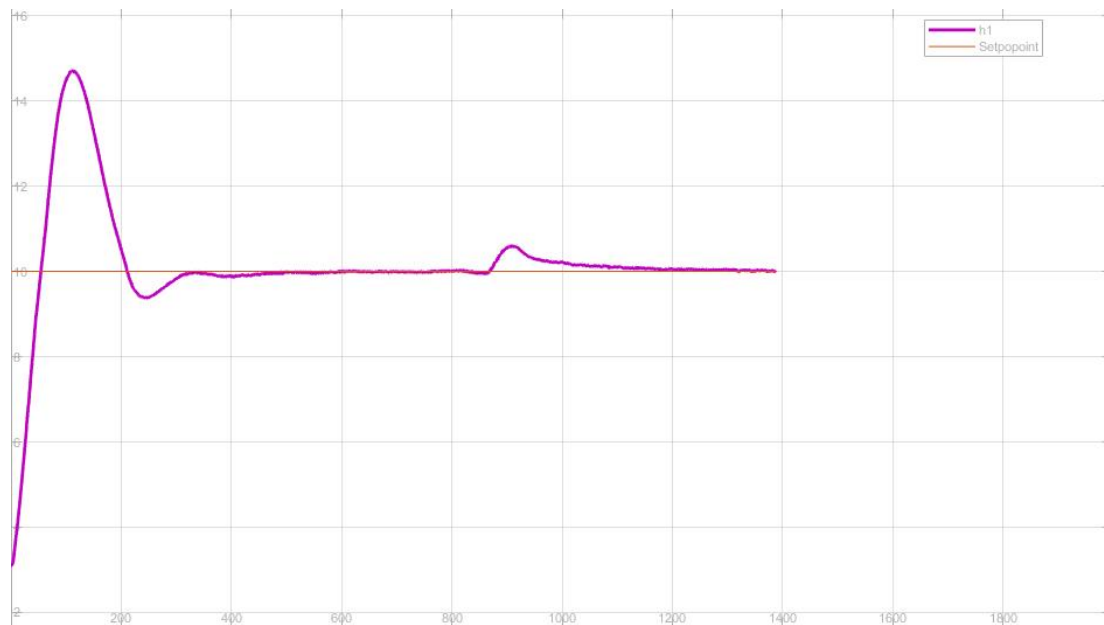
三、 实验结果及分析

(实验原始数据、实验曲线及其分析)

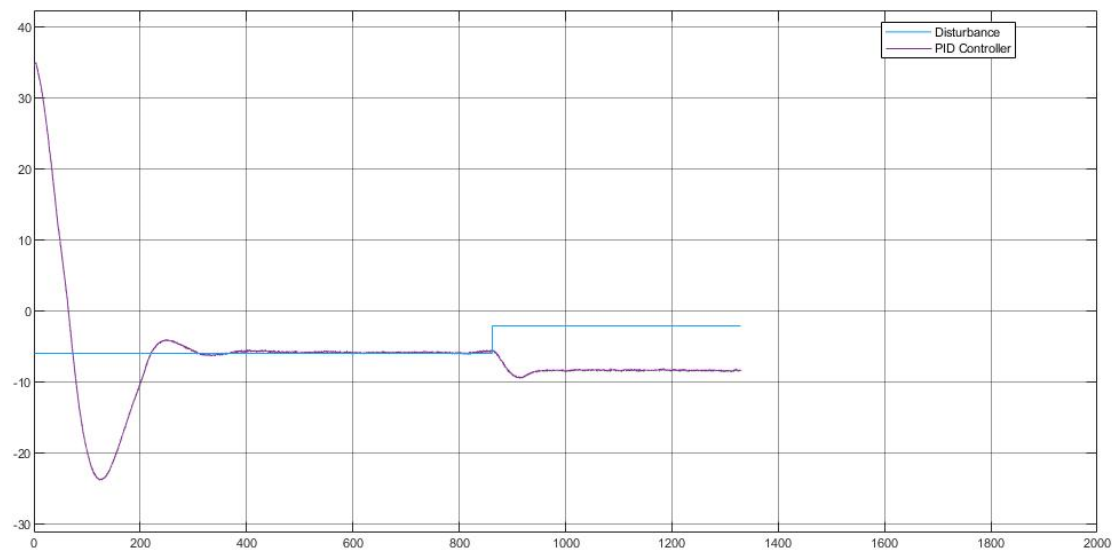
(1) 附实验采集曲线及参数整定结果。

1. 无前馈环节

稳态图:



PID 和变送器输出:



由图知 $Y_{n0} = -6, Y_{c0} = 5.038, Y_n = -2, Y_c = -7.025$

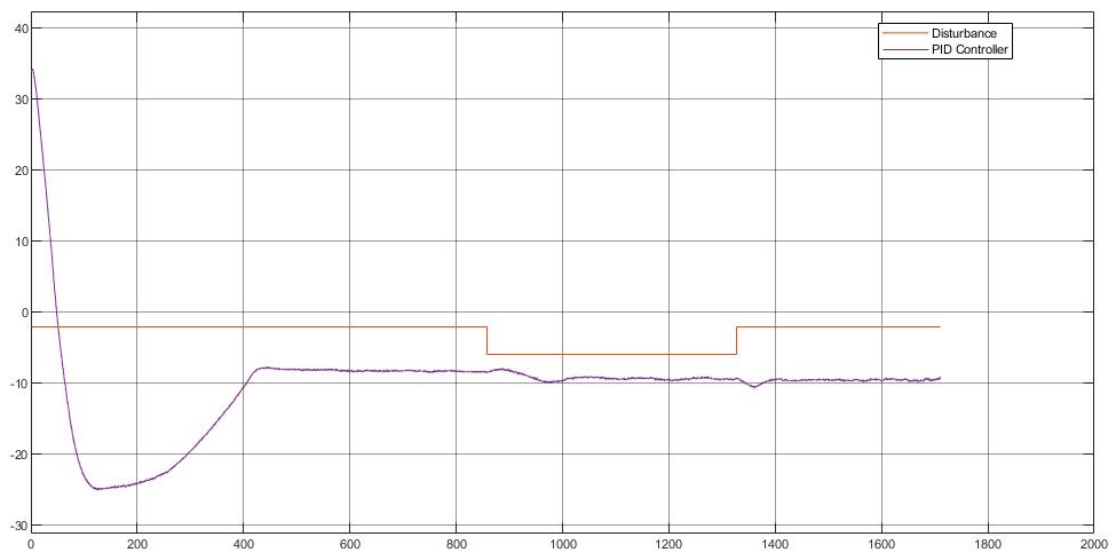
$$\text{静态放大系数 } K_{ff} = -\frac{|-7.025+5.038|}{|-2+6|} = -0.5418$$

2. 有前馈调节

稳态图：



PID 和变送器输出



(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？

由实验结果可知，在扰动的作用下，前馈-反馈控制系统能更快

地达到稳态，且扰动引起超调量更小。这是因为反馈控制系统在被控量出现偏差后才进行调节，调节作用在干扰作用之后。前馈调节则将干扰测量出来并直接引入调节装置，在干扰为对实际输出产生影响的时候就对其进行了处理，对于干扰的克服比反馈控制及时。

（3）前馈系统中存在的问题是什么？

前馈控制使用的调节器是根据被控对象的特点来确定调节规律的前馈调节器，即需要专用调节器，不具有广泛的适用性。前馈控制只能克服所测量的干扰，若干扰量不可测量，就无法使用有效的前馈。工业对象存在多个扰动，若均设置前馈控制器会大幅度提高成本。