

水箱液位控制系统的仿真设计

朱海棠 管芳景

无锡城市职业技术学院, 中国·江苏 无锡 214000

摘要: “3+2” 高职与本科分段培养, 在高职机电一体化专业的课程体系中, 《过程控制与仪表》这门课理论多而繁杂, 理论实践脱离, 学生们兴趣寡淡, 掌握情况不佳。以水箱液位控制为例, 结合 MATLAB 仿真软件, 采用单回路和串级控制, 两种不同方式对液位进行控制与调节。在无干扰、一次干扰和二次干扰情况下, 通过观察系统响应曲线, 与单回路控制相比, 串级控制在快速性、稳定性和抗干扰等方面具有很大的优势。

关键词: “3+2” 分段培养; 仿真; 单回路控制; 串级控制

Simulation Design of Water Tank Level Control System

Haitang Zhu Fangjing Guan

Wuxi City College of Vocational Technology, Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract: In the “3+2” vocational and undergraduate segmented training system of the electromechanical integration major in vocational colleges, the course *Process Control and Instrumentation* has a lot of theoretical complexity and is detached from theoretical practice, resulting in students’ lack of interest and poor mastery. Taking water tank level control as an example, combined with MATLAB simulation software, single loop and cascade control are used to control and adjust the liquid level in two different ways. Compared with single loop control, cascade control has significant advantages in terms of speed, stability, and anti-interference by observing the system response curve in the absence of interference, primary interference, and secondary interference.

Keywords: “3+2” segmented cultivation; simulation; single loop control; cascade control

0 前言

江苏省教育厅于 2017 年下发了《省教育厅关于公布 2017 年高职与普通本科联合（分段）培养项目的通知》（苏教高〔2017〕10 号），正式启动了“3+2” 高职与本科分段培养试点项目。学生前三年在专科院校学习，后两年在本科院校深造，旨在通过专科阶段的基础教育和技能训练，为学生后续的本科学习打下坚实的基础，并促进其学术能力和职业素养的全面提升。对于“3+2” 分段培养中，高职机电一体化专业，《过程控制与仪表》是一门专业核心课程。由于本课程教学内容抽象，理论多、难度大，理论实践脱离，因此在学习过程中，学生们存在着学习兴趣寡淡、理解程度低、参与度低以及考核结果不理想等问题。

液位控制是工业自动化中的一个重要领域，对容器或设备中的液位进行实时监测和控制，以确保液位维持在设定的安全或工作范围内。MATLAB 是一种用于数值计算、可视化和编程的高级技术计算语言和交互式环境，用户可以较为方便地进行系统仿真。以水箱液位控制为例，结合 MATLAB 仿真软件，采用两种不同控制方式对液位进行控制与调节。图 1 为水箱结构示意图。如图 1 所示，上、下两水箱串联，上水箱的水通过阀门 V2 流入到下水箱，上水箱的流量大小影响下水箱液位的高度。但是，下水箱不能影响上水箱。因此，下水箱液位 H2 是系统的被测量。

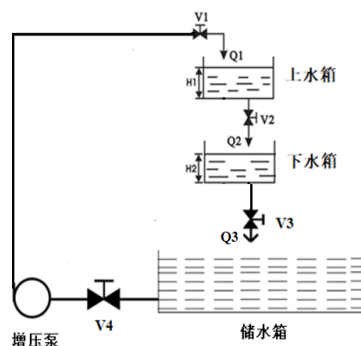


图 1 水箱结构示意图

单回路控制和串级控制是两种常见的控制策略。下面分别介绍两种不同方法所带来的不同控制效果。

1 单回路控制系统

图 2、图 3 分别为液位单回路控制结构图和系统框图。如图 3 所示，整个系统由检测变送器、控制器、执行器和被控对象组成。在液位控制中，变送器即液位传感器测量液位高度，并将其转换为电信号传递给控制器。控制器根据液位偏差（设定值与测量值之差）调整控制信号，通过执行器（如各种阀门等）改变进水量或出水量，从而将液位维持在设定值。

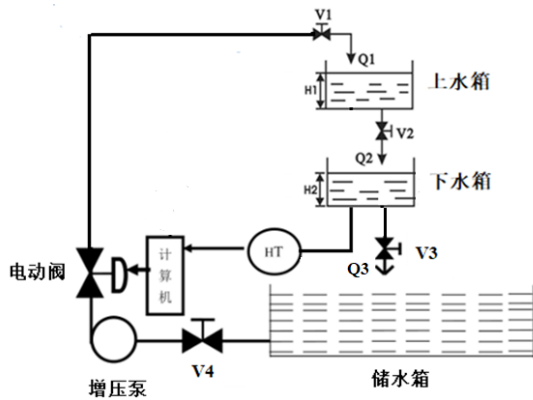


图 2 液位单回路控制结构图

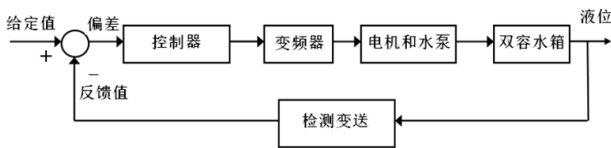


图 3 液位单回路控制系统框图

如图 2 所示，假设流量 Q_1 为上水箱的输入量，下水箱的液位 H_2 为输出量，根据动态平衡关系，并考虑到液体运输过程中的延时性，其传递函数为：

$$G(s) = \frac{H_2(s)}{Q_1(s)} = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-\tau s}$$

上式中： $K=R_3$ ， $T_1=R_2C_1$ ， $T_2=R_3C_2$ ， R_2 、 R_3 分别为阀门 V_2 和 V_3 的液阻， C_1 、 C_2 分别为上、下水箱容量系数，为延迟时间。由于此水箱数学模型是二阶的，当系统为阶跃输入信号时，一般选用 PID 控制器。

2 串级控制系统

图 4、图 5 为液位串级控制结构图和系统框图。如图 5 所示，该系统具有两个液位变送器、主、副两个控制器、主、副两个被控对象和一个执行器，其中主对象为下水箱，副对象是上水箱。串级控制系统在其结构上有两个闭环：副回路和主回路。主、副控制器分别设置在主、副两个回路中。两控制器采用串联，主控制器用来控制液位高度，副控制器用来控制进水量或者流量。执行器一般采用电动阀门，用于调节进水量或出水量，从而控制水箱液位。

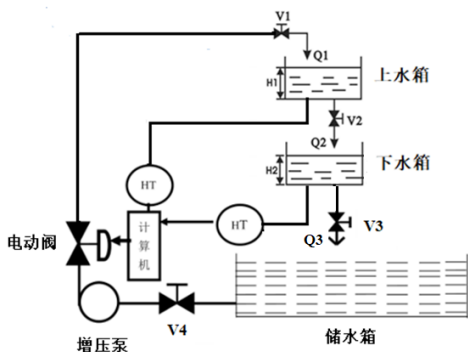


图 4 液位串级控制结构图

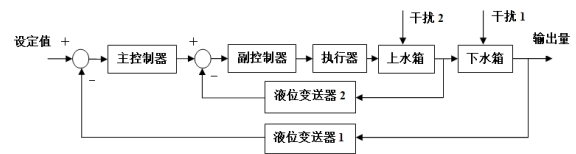


图 5 串级控制系统框图

通常主回路是定值控制系统，副回路是随动控制系统。当干扰进入副回路时，根据主控制器输出信号与副反馈的偏差，副控制器产生输出信号控制执行器，系统快速克服进入副回路的扰动，上水箱液位将保持稳定。根据设定值和下水箱实际液位之间的偏差，主控制器产生输出信号调节，进而使下水箱液位保持稳定。上水箱时间常数要远小于下水箱。同时，为了保证系统具有较高的控制精度，一般主控制器为 PID 控制器，副调节器为 P 控制器，以提高副回路的响应速度。

3 系统仿真

已知水箱液位控制系统的数学模型，下、上水箱（即主、副对象）的传递函数分别为 $G_{p1}(s) = \frac{1}{100s+1}$ ， $G_{p2}(s) = \frac{1}{10s+1}$ 。采用两种不同的控制方式，当系统无干扰、一次干扰和二次干扰时，使用 MATLAB 软件对控制系统进行仿真。

3.1 无干扰

外界无干扰，在单回路控制和串级控制中，当系统输入单位阶跃信号，其系统仿真图分别如图 6 和图 7 所示。两种不同控制系统方式下，阶跃响应曲线分别如图 8 和图 9 所示，比较得出：无干扰情况下，串级控制系统超调量较小，振荡频率降低，调节时间短，系统能迅速达到稳定状态。

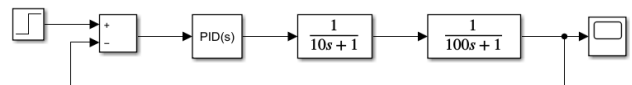


图 6 无干扰单回路系统仿真图

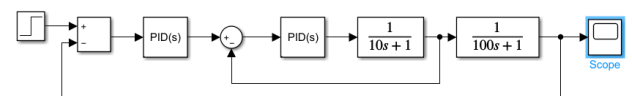


图 7 无干扰串级系统仿真图

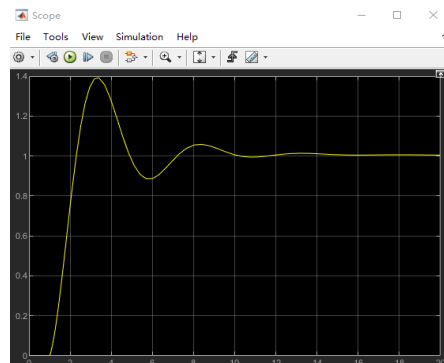


图 8 无干扰单回路阶跃响应曲线

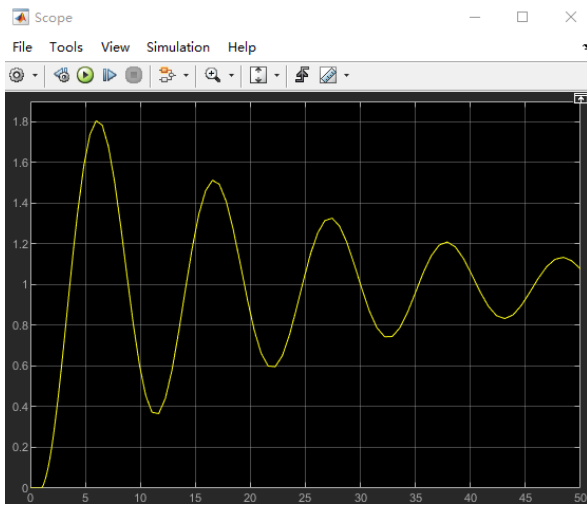


图 9 无干扰串级系统阶跃响应曲线

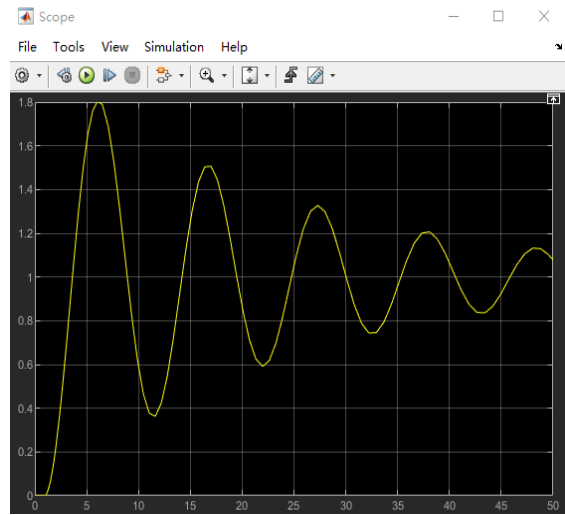


图 13 一次干扰串级系统阶跃响应曲线

3.2 一次干扰

当一次扰动作用于下水箱时，系统输入单位阶跃信号，扰动信号也同为单位阶跃信号，系统仿真图分别如图 10 和图 11 所示，阶跃响应曲线分别如图 12 和图 13 所示。与无干扰相比，在一次扰动作用下，系统响应时间长，系统稳定性下降较大，出现了较长时间的小幅振荡。串级控制引入副回路，对于一次扰动能够更快地响应，提高系统的稳定性。

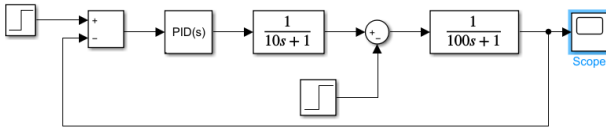


图 10 一次扰动单回路系统仿真图

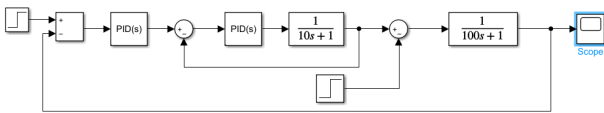


图 11 一次扰动串级系统仿真图

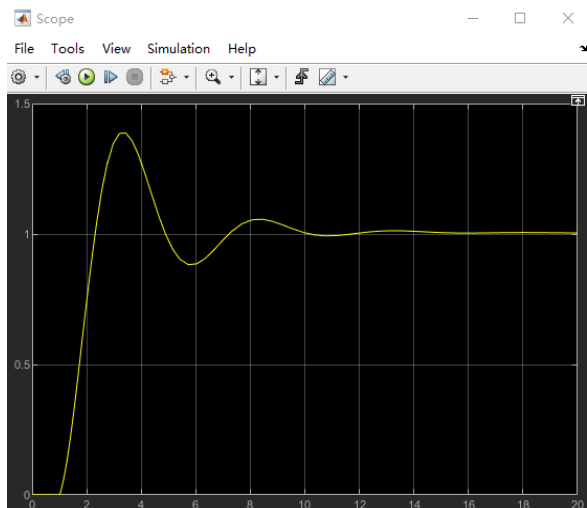


图 12 一次干扰单回路阶跃响应曲线

3.3 二次干扰

当二次扰动作用于上水箱，副回路干扰通道情况相对较为复杂，其传递函数为 $G_{d2}(s) = \frac{1}{s^2+20s+1}$ ，系统输入单位阶跃信号，系统仿真图如图 14 和图 15 所示，阶跃响应曲线如图 16 和图 17 所示。在二次扰动作用下，串级控制响应曲线的最大偏差更小，系统快速性增强，当增益相同时，系统稳定性更高，提高了系统的抗干扰能力，控制效果较好。

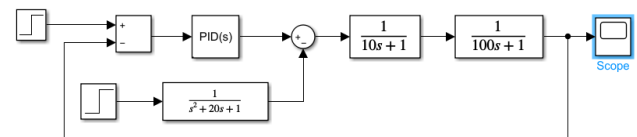


图 14 二次扰动单回路系统仿真图

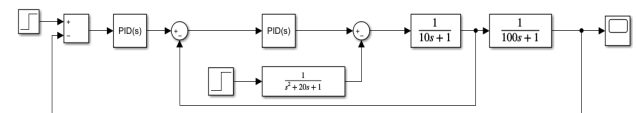


图 15 二次扰动串级系统仿真图

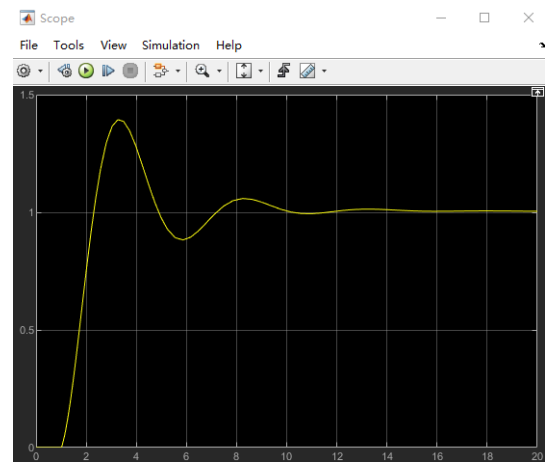


图 16 二次干扰单回路阶跃响应曲线

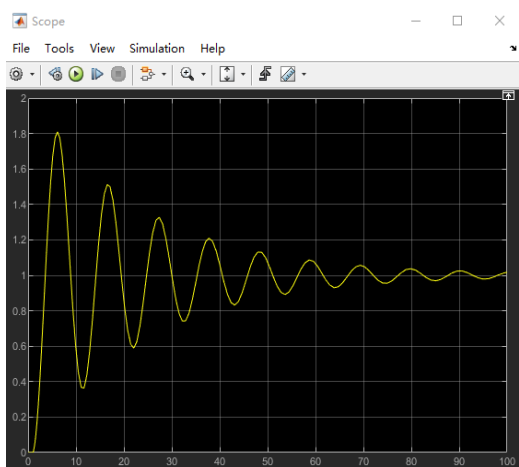


图 17 二次干扰串级系统阶跃响应曲线

综上所述，在水箱液位控制中，与单回路控制相比，串级控制在快速性、稳定性和抗干扰等方面具有很大的优

势。采用 MATLAB 仿真，有助于学生掌握水箱液位不同的控制方法及作用效果。同时，结合过程控制综合实训台的使用，学生进行实操，能够加深知识的理解，有助于学生更好地掌握《过程控制与仪表》这门课。

参考文献：

- [1] 王超,孙万麟,梁红梅,等.高本贯通“3+2”分段培养现状的调查研究[J].教育现代化,2019(A5):258-260.
- [2] 陆从相,吴坡.高职与本科“3+2”分段贯通培养模式的探索与实践[J].新课程研究,2022(4):102-104.
- [3] 王茜,李烁.“过程控制仪表及装置”课程综合仿真实验设计与教学[J].教育教学论坛,2021,7(29):4.
- [4] 李小明,陈平清,谷雪贤,等.水箱液位控制系统理实一体化教学设计[J].广州化工,2020,48(14):3.

作者简介: 朱海棠(1982-),女,中国江苏盐城人,硕士,讲师,从事机电一体化、电气自动化研究。