

过程控制工程 实验指导书

上海交通大学自动化系

前 言

《过程控制工程实验》是《过程控制工程》课程教学体系中不可缺少的重要环节，旨在通过动手实践操作，加深学生对理论知识和基本概念的理解与掌握，培养学生的工程实施能力，激发学生的创造力。

本实验课程由基本实验、演示实验、设计实验、计算机仿真实验组成。基本实验以模拟对象装置、控制器、记录仪等仪器、仪表为工具，通过线路连接搭成各种控制回路并进行调试，使学生认识对象特性及控制参数调整对过程的影响；演示实验和设计实验以小型温度、压力、液位控制系统实验装置为工具，通过演示或实际设计操作，使学生认识实际生产装置的控制方法；计算机仿真实验使学生了解计算机仿真对自动控制系统意义、作用和基本方法，了解 Labview 软件包仿真过程的方法，并进一步了解过程参数的测试方法和控制系统的工程整定方法。

本实验指导书适用于自动化专业，由任课教师和实验教师等共同讨论编写。

上海交通大学自动化系

2015 年 3 月

目 录

实 验 要 求	2
实验 1 熟悉实验仪器以及 ON-OFF 控制	3
实验 2 PID 控制系统的研究	7

实 验 要 求

1. 每次实验前，必须预习实验内容，实验结束后，必须书写实验报告。
2. 实验报告中应写明如下内容：
 - 1) 实验名称，姓名、班级、学号，若是分组实验，则写明同组合作者姓名；
 - 2) 实验的目的、实验设备；
 - 3) 实验的基本原理；
 - 4) 实验设备连接图或仿真模块连接图、计算机程序等；
 - 5) 实验详细步骤；
 - 6) 实验结果，包括数据、图、表、曲线等；
 - 7) 实验计算及分析、结论等；
 - 8) 实验思考题、心得体会及建议等。
3. 实验结束后，须关闭仪表电源，整理好仪表。

实验 1 熟悉实验仪器以及 ON-OFF 控制

【实验目的】

- 1) 了解 LabVIEW 使用环境；
- 2) 熟悉实验设备的系统操作以及注意事项；
- 3) 理解温度系统的 ON-OFF 控制；

【实验原理】

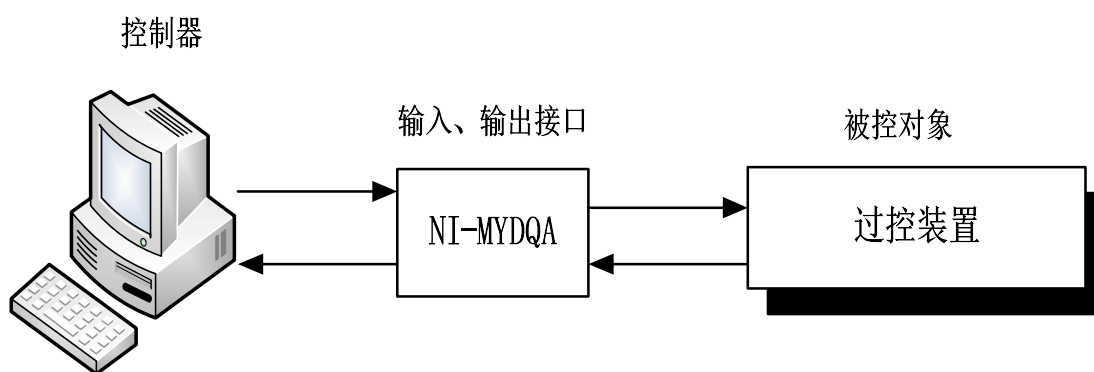


图 1-1 实验系统原理图

图 1-1 所示的系统是典型的计算机过程控制系统，其中控制器为计算机控制器，在 Labview 平台上设计的数字控制器，然后由 NI 公司提供的数据板卡 MyDAQ 为输入、输出数据接口来连接控制器和控制对象。MyQAD 的端子连接 I/O 图的外观如图 2 所示，具体信号说明在表 1 中体现。

表 1-1MyDAQ 接线信号说明

信号名称	参考	方向	说明
Audio In	-	输入	音频输入-立体声连接器的左、右侧的音频输入
Audio Out	-	输出	音频输出-立体声连接器的左、右侧的音频输出
+15V/-15V	AGND	输出	+15V/-15V 电源
AGND	-	-	模拟地-AI, AO, +15V/-15V 的参考接线端
AO-0/AO-1	AGND	输出	两个模拟输出通道
AI-0/AI-1	AGND	输入	两个模拟输入通道
DIO<0..7>	DGND	输入\输出	数字 I/O 信号-通用信号线或计数器
DGND	-	-	数字地-DIO 数据线和+5V 电源的参考地
5V	DGND	输出	5V 电源

实验室中，提供了三套不同的过控对象：

开关控制（ONE-OFF Control）是一个所有控制系统中一个比较的控制策略，其原理是：在温度控制系统中，当温度低于某一个阈值时，开关闭合，使得温度上升的预定值；当温度超过某一个阈值时，开关关闭，使得温度下降至预定值。如图 1-1 所示

为一个具有反馈的开关控制的方框图。

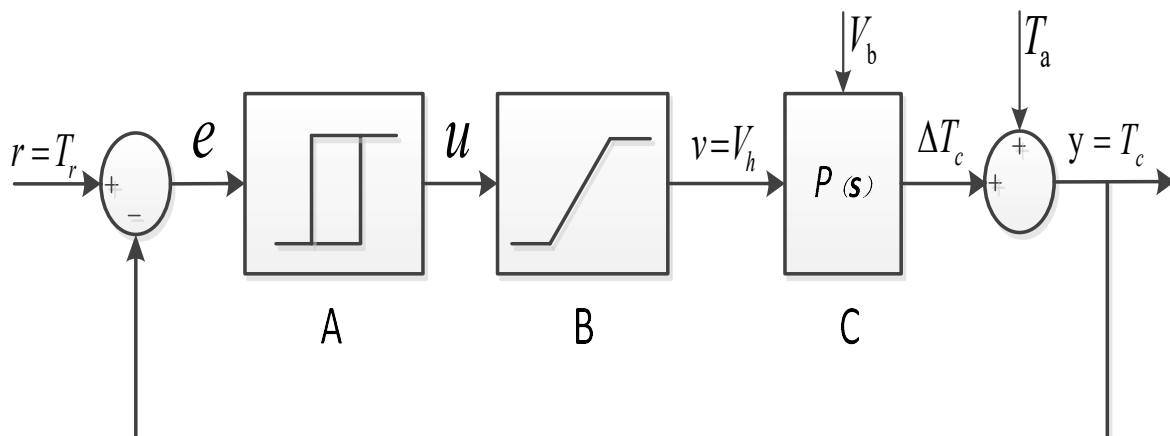


图 1-1： 开关控制系统方框图

其中， e 为预定温度与反馈温度的差值，即 $e = T_r - T_c$ ，开关控制主要是通过具有滞回特性的继电器（A）实现，其原理如图 1-2 所示。B 为加热驱动器，用一个饱和模块表示，C 为温度系统气室，用一个传递函数 $P(s)$ 表示，根据系统模型可知：

$$P(s) = \frac{K_v}{s} \quad (1-1)$$

其中 K_v 为系统模型斜率，可以通过实验所得。

从图 1-2 中可知，继电器（A）具有滞回特性，当 $e = T_r - T_c$ 超过 $\frac{\Delta T_h}{2}$ 时，继电器闭合，当 $e = T_r - T_c$ 小于 $-\frac{\Delta T_h}{2}$ 时，继电器断开。其中 ΔT_h 可以通过外界条件设置。

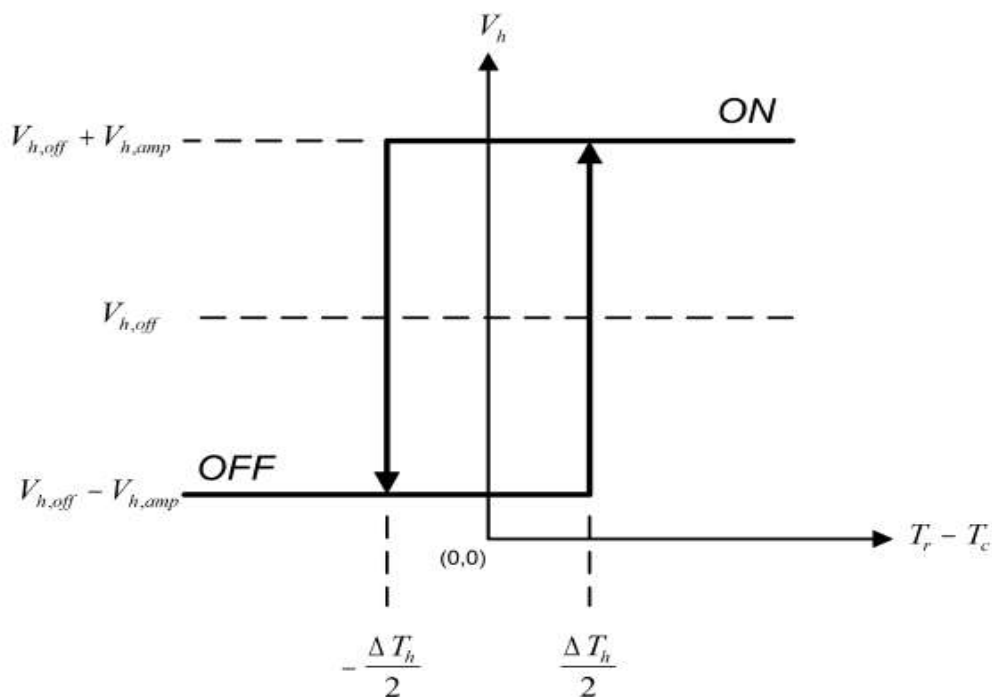


图 1-2: 开关控制系统方框图

【实验内容与步骤】

1. 了解 LabVIEW 使用环境

LabVIEW 是一种程序开发环境，由美国国家仪器（NI）公司研制开发的，类似于 C 和 BASIC 开发环境，但是 LabVIEW 与其他计算机语言的显著区别是：其他计算机语言都是采用基于文本的语言产生代码，而 LabVIEW 使用的是图形化编辑语言 G 编写程序，产生的程序是框图的形式。LabVIEW 软件是 NI 设计平台的核心，也是开发测量或控制系统的理想选择。LabVIEW 开发环境集成了工程师和科学家快速构建各种应用所需的所有工具，旨在帮助工程师和科学家解决问题、提高生产力和不断创新。LabVIEW 中程序模块称为 VI，采用数据流编程方式，程序框图中节点之间的数据流向决定了 VI 及函数的执行顺序。LabVIEW 界面包括：启动界面、前面板、程序框图以及模板部分（控件模板、函数模板和工具模板），如图 1-3 与图 1-4 所示。LabVIEW 同样具有调试工具，如设置断点、以动画方式显示数据及其子程序（子 VI）的结果、单步执行等等，便于程序的调试。由于其具有便于移植、库函数丰富以及使用简单方便等优点，已经广泛应用于控制通信等领域中。本次实验课程采用 LabVIEW 2012 版本，具体操作建议大家课后深入研究。

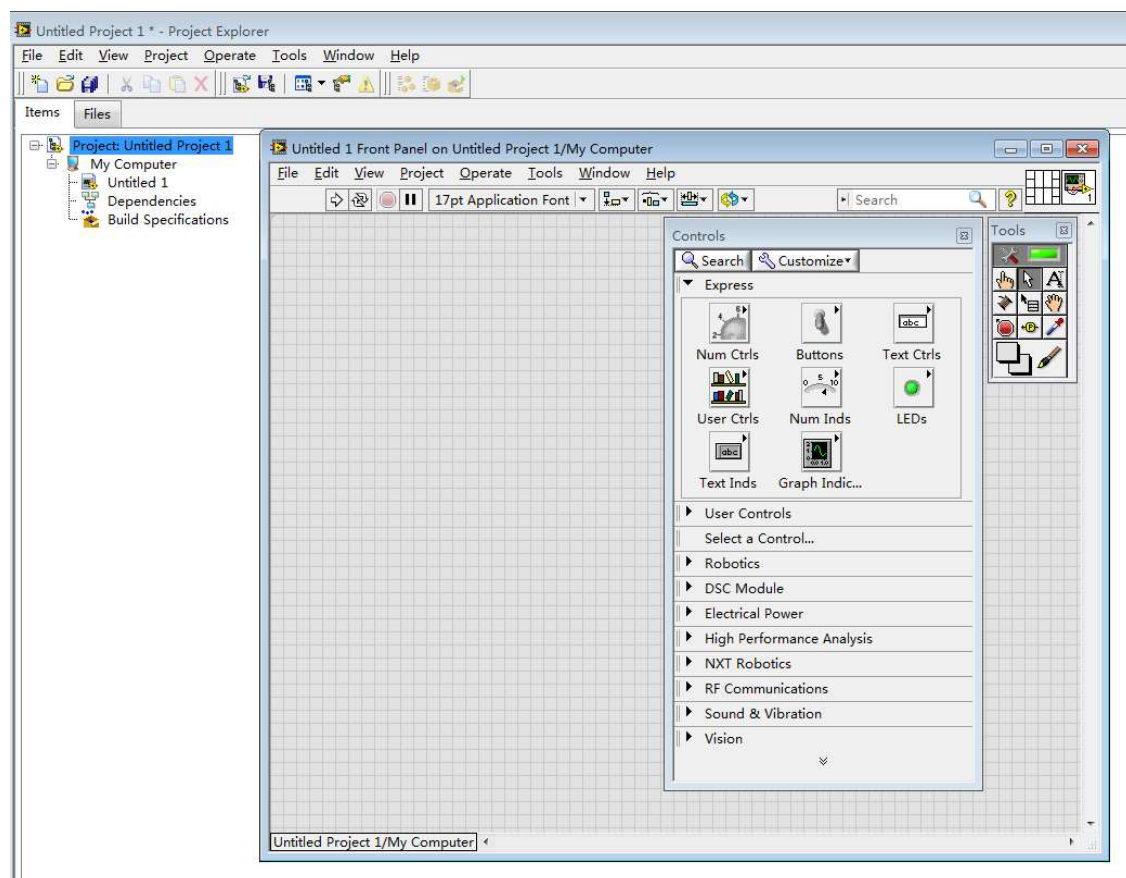


图 1-3: LabVIEW 前面板

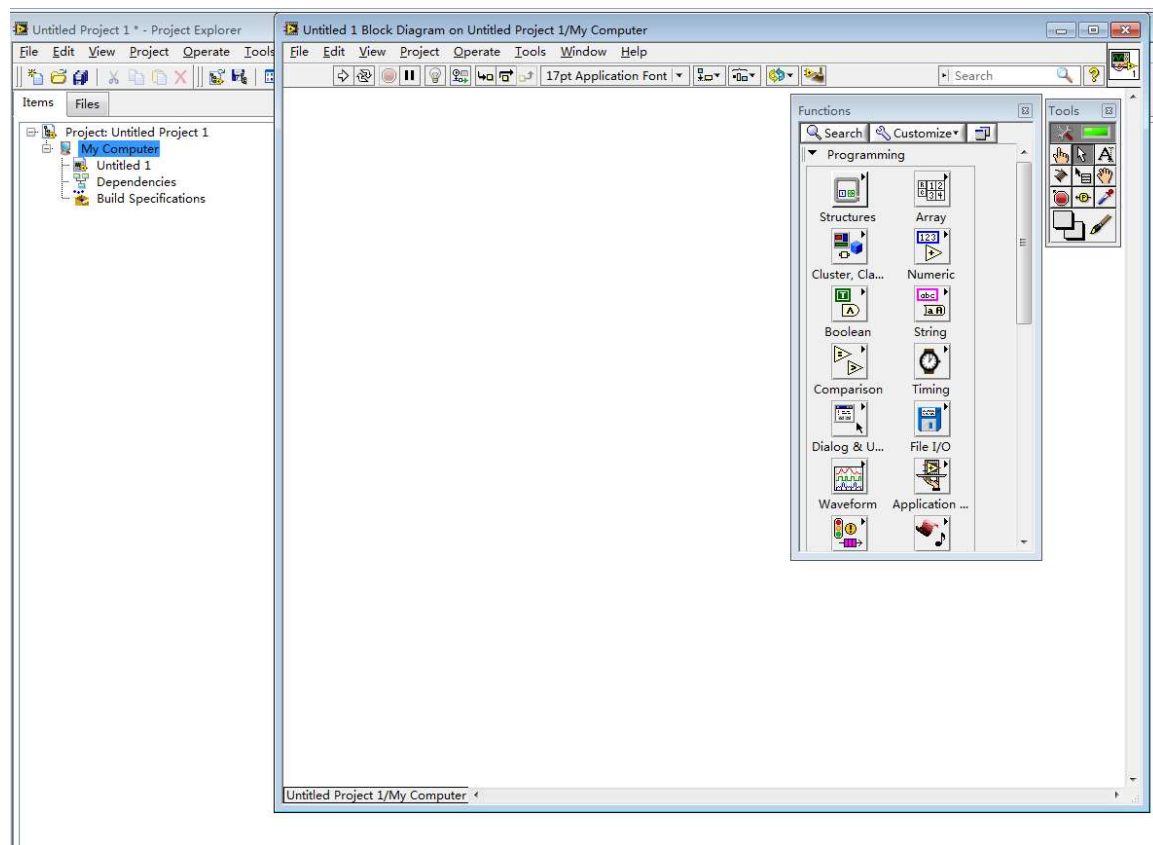


图 1-4: LabVIEW 程序框图面板

2. 熟悉虚拟仪器以及 ELVIS 系统使用

虚拟仪器（virtual instrument）是基于计算机的仪器。计算机和仪器的密切结合是目前仪器发展的一个重要方向。粗略地说这种结合有两种方式，一种是将计算机装入仪器，其典型的例子就是所谓智能化的仪器。随着计算机功能的日益强大以及其体积的日趋缩小，这类仪器功能也越来越强大，目前已经出现含嵌入式系统的仪器。另一种方式是将仪器装入计算机。以通用的计算机硬件及操作系统为依托，实现各种仪器功能。虚拟仪器主要是指这种方式。

虚拟仪器实际上是一个按照仪器需求组织的数据采集系统。虚拟仪器[3] 的研究中涉及的基础理论主要有计算机数据采集和数字信号处理。目前在这一领域内，使用较为广泛的计算机语言是美国 NI 公司的 LabVIEW。

实验 2 PID 控制系统的研究

【实验目的】

- 1) 了解 PID 控制原理；
- 2) 理解 PID 温度控制系统；
- 3) 理解 PID 每个参数对控制系统的影响；

【实验原理】

1、PID 控制原理

PID 控制器是自动控制中最为经典的控制器。由比例单元 P、积分单元 I 和微分单元 D 组成。通过 K_p ， K_i 和 K_d 三个参数的设定。PID 控制器主要适用于基本线性和动态特性不随时间变化的系统。现在应用中主要分为模拟 PID 控制器和数字 PID 控制器，下面简单介绍：

1) 模拟 PID 控制器

如图 2-1 所示为模拟 PID 控制系统原理框图，系统包括 PID 控制模块、执行机构、被控对象以及反馈通道。

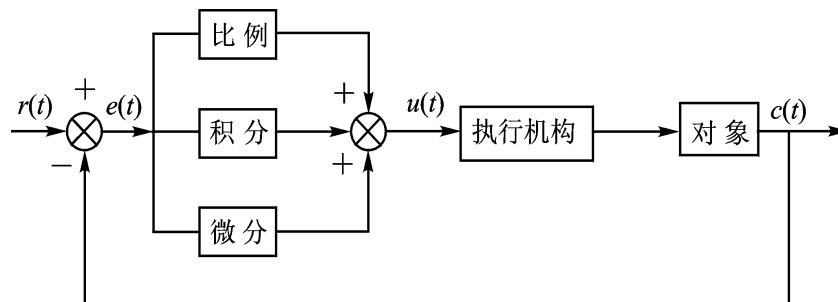


图 2-1: 模拟 PID 控制系统原理框图

PID 调节器是一种线性调节器，它将给定值 $r(t)$ 与实际输出值 $c(t)$ 的偏差 $e(t)$ 的比例

(P)、积分(I)、微分(D)通过线性组合构成控制量，对控制对象进行控制。经过数学推导，PID 调节器的微分方程为：

$$u(t) = K_P \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{\Delta(t)}{dt} \right] \quad (2-1)$$

式中 $e(t) = r(t) - c(t)$

由图 2-1 中系统模型可得到系统传递函数为：

$$D(S) = \frac{U(S)}{E(S)} = K_P \left[1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S \right] \quad (2-2)$$

2) 数字 PID 控制器

数字 PID 控制其本质为将模拟 PID 进行离散化，以便用于计算机控制。其对应于模拟 PID 微分方程的差分方程为：

$$\begin{aligned} u(n) &= K_P \left\{ e(n) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{T_D}{T} [e(n) - e(n-1)] \right\} + u_0 \\ &= u_P(n) + u_I(n) + u_D(n) + u_0 \end{aligned} \quad (2-3)$$

式中 对应于 PID 控制器， $u_P(n) = K_P e(n)$ 为比例项， $u_I(n) = K_P \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e(i)$ 为积分

项， $u_D(n) = K_P \frac{T_D}{T} [e(n) - e(n-1)]$ 为微分项。

数字 PID 控制常用的两种算法类型为位置式控制与增量型控制，可查阅相关资料。

2、温度 PI 控制系统

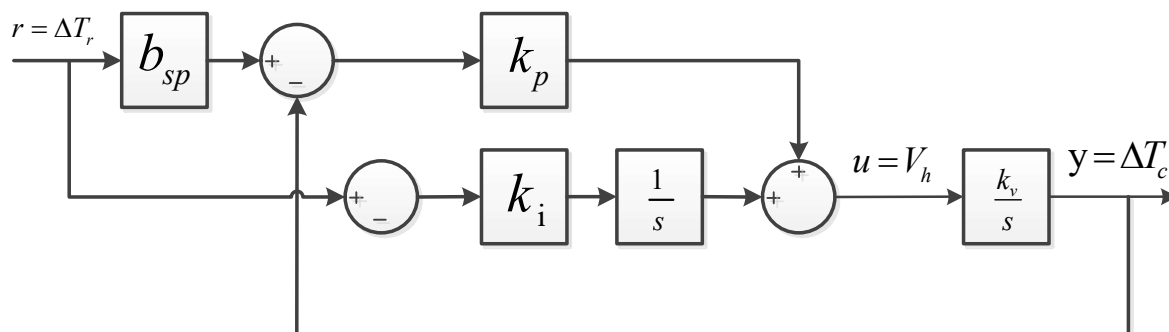


图 2-2: PI 控制方框图

ELVIS 系统传递函数为 $P(s) = \frac{K_v}{s}$ ，PI 控制器的输入输出关系为：

$$U(s) = k_p [b_{sp} R(s) - Y(s)] + \frac{k_i [R(s) - Y(s)]}{s} \quad (2-4)$$

根据方框图反馈原理，关于 ΔT_c 与 ΔT_r 的传递函数为：

$$G_{\Delta T_c, \Delta T_r}(s) = K_v \frac{k_p b_{sp} s + k_i}{s^2 + K_v k_p s + K_v k_i} \quad (2-5)$$

其中 $\Delta T_r = T_r - T_a$ ， $\Delta T_c = T_c - T_a$ 。

从式(2-5)可知，与闭环系统特征多项式相对可知：

$$k_p = \frac{2\zeta w_0}{K_v} \quad , \quad k_i = \frac{w_0^2}{K_v} \quad (2-6)$$