

基于 NI ELVIS 的自动控制原理实验设计

吴 坚

(同济大学电信学院 上海 201804)

摘要: 同济大学自动化专业已经建设成为教育部工程教育改革试点专业和教育部卓越工程师培养试点专业, 并列入同济大学国际双学位培养计划。以前的自动控制原理实验平台难以满足课程设计、毕业设计、创新活动设计以及工程化教育, 难以实现综合设计型和创新型实验, 无法达到学校工程教育培养模式下的自动化卓越工程师培养的基本要求。针对该问题, 我们利用实验中心的自动控制原理实验教学平台软硬件体系, 有针对性的设置了一套实验方案, 以满足教学需求。经过两个学年的教学工作, 取得了良好的效果。

关键词: LabView ELVIS 自动控制 实验教学

一、概述

1.1 背景

自动化学科专业是工程技术专业, 工程的本质是综合, 是创造, 是实践。正是由于自动化学科专业的本质特征决定了自动化学科专业极其强调实践教学。实践教学是理论教学的继续, 是未来理论创新的源泉, 实践教学是培养学生实践能力和创新精神的重要途径。

同济大学控制科学与工程系所属自动化专业所有实验室均在电子与信息工程学院实验中心进行统一管理。目前建成的电机与拖动、运动控制系统、过程控制系统、传感器与检测技术、计算机控制系统、现场总线技术及应用等专业教学基础实验室。实验室与专业课程一一对应, 为理论教学提供了基本的验证型、简单的设计型实验。

自动控制原理 A 是自动化专业本科生主干课程, 但是, 目前的实验平台难以满足课程设计、毕业设计、创新活动设计以及工程化教育, 难以实现综合设计型和创新型实验, 无法达到学校工程教育培养模式下的自动化卓越工程师培养的基本要求。

围绕着“卓越工程师”培养计划, 控制科学与工程系规划建成既有规模又有水平的自动化实验综合平台, 形成可以进行控制理论与系统实验、运动控制实验、过程控制实验、智能机器人实验、网络及多媒体教学实验等的平台。实验平台不仅将直接为本科生、研究生课程提供服务, 还将用于培养参加科研创新的本科生, 为控制系及全校相关学科的人才培养提供一个研究型 and 综合型的实验平台。

作者简介: 吴坚, 男, 同济大学电信学院, 硕士, 高级工程师。主要从事传感器网络、过程控制和自动控制原理实验教学工作。

1.2 自动控制系统实验教学需求

基于前述背景,以工程实践为核心的自动控制系统实验类课程在学院的本科生教学工作中具有重要的意义。针对以上情况,通过同济大学第十期实验教学改革的支持,我们进行了基于 NI ELVIS 的自动控制原理实验平台设计的探索。

二、实验项目建设

NI 针对本科生教学实验对动手能力、创新性、综合能力的要求,提出基于 NI ELVIS 平台的本科教学综合实验室的建设方案。由于包含了新近研发的多种学科教学实验的扩展平台,该方案适合于控制理论本科教学的多类课程实验。



图 1. NI ELVIS 教学实验室虚拟仪器套件

NI 公司的教学实验室虚拟仪器套件 (NI ELVIS) 可用于动手设计及原型设计,平台集成了 12 款最常用仪器,包括示波器、数字万用表、函数发生器、可编程电源、波特分析仪等,紧凑的结构是实验室及课堂教学的理想选择,见图 1。

NI ELVIS 可通过 USB 接口与 PC 连接,实现快速易用的测量采集及显示。通过与 NI LabVIEW 图形化系统设计软件,NI Multisim 采集及仿真环境的紧密结合,NI ELVIS 能够充分发挥虚拟仪器技术的灵活性及自定义功能,方便的帮助学生利用虚拟仪器技术掌握各个学科的理论基础和实验原理。此外,NI ELVIS II+ 还特有 100 MS/s 的示波器,可用于测量通信系统中的高频信号或者电路等。

同时,NI ELVIS 的开放式的构架使得其支持各类行业领先厂商设计的扩展模块和相关课件资源供教学使用。

作为 NI 电子教学平台的主要组成部分,NI ELVIS 为多类应用提供了所需的器件,从基础电路理论探索到研究项目的建模。Multisim 是一款通过 SPICE 实现仿真、设计及验证电路的软件包,它与 NI ELVIS 的配合使用能够将理论与原型设计结合的更紧密。可以从网上下载常用的电路教学课本中的 Multisim 电路文件。这些文件让学生在仿真环境下学习课本上的理论,并观察到预期的理论结果。学生可在 NI ELVIS 硬件平台上进行电路的原型设计,并对比测量及仿真

数据，从而拓展仿真经验。

学生可在 Multisim 中的 NI ELVIS 电路开发板上设计电路，而后进一步设计真实电路板，两者的布线是完全相同的。电路设计可在 NI ELVIS 平台上完成。学生可在软前面板中同时观察仿真结果及真实数据。此外，由于 VI 是开放的源代码，故还可通过 LabVIEW 自定义设计。通过 NI ELVIS、Multisim 及 LabVIEW，实现从理论到完整功能应用的步进式无缝连接。

Quanser 公司基于 NI ELVIS 平台接口针对控制概念的教学，开发了多种插入板，可以进行控制、仿真和设计概念等的教学。Quanser 的 NI ELVIS 工程培训模块 (QNET) 与 NI ELVIS 产品系列 (从 NI ELVIS 到当前的 NI ELVIS II+) 兼容。其硬件采用与 NI LabVIEW 图形化系统设计软件相容的 NI LabVIEW 控制设计和仿真模块。QNET 中还包含了课件和范例代码，使得教师可以通过 NI ELVIS 和 Quanser 来进行控制设计的基础教学，并借助于实际的互动式实验，让学生学习控制设计和仿真概念 (如 PID 和根轨迹)。

综合考虑我校的实际情况，购置了以下四种 QNET 控制理论工程训练仪 (如图 2 所示)。

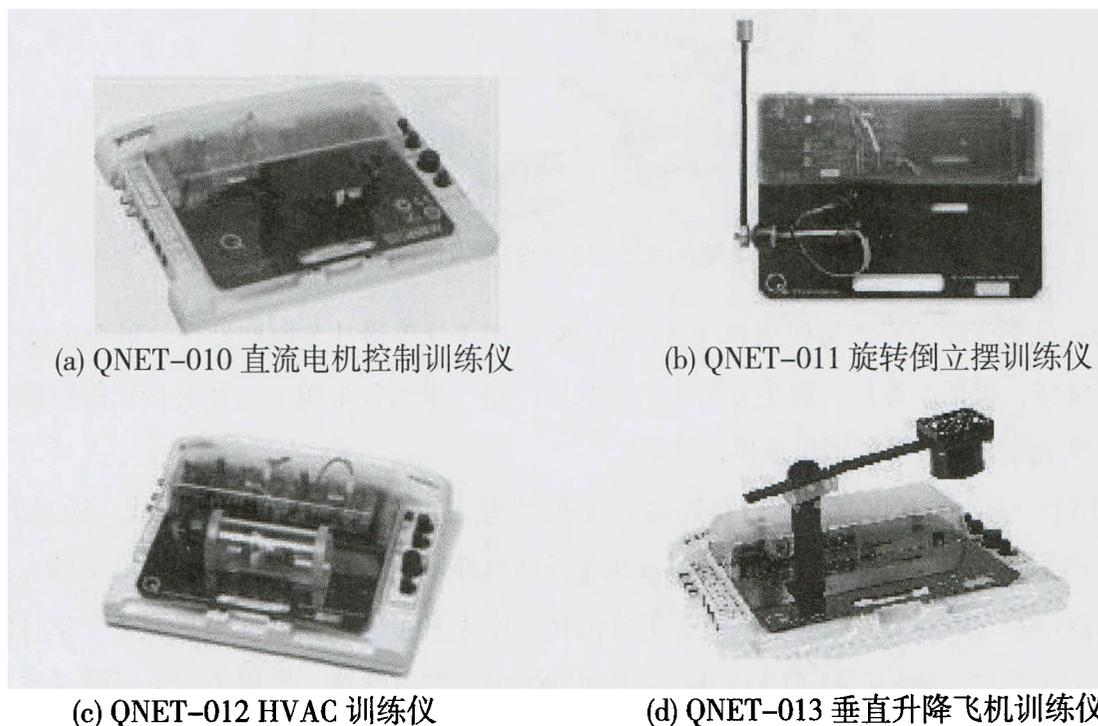


图 2. Quanser 的 NI ELVIS 工程培训模块教学套件

QNET-010 直流电机控制训练仪可利用 NI ELVIS 和 NI LabVIEW 软件，阐释直流电机控制的基本知识。通过方便、快捷的配置，套件可控制电机位置与速度，以及参数估计和触觉旋钮控制等。

QNET-011 旋转倒立摆训练仪让学生有机会通过直流电机，使位于转臂末端的倒立摆保持平衡状态。这个经典的倒立摆控制实验现在能够通过 NI ELVIS 工作站和 NI LabVIEW 软件实现。

QNET-012 HVAC 训练仪适合阐释流体力学和热力学控制课程中蕴含的概念。它可帮助学

员利用 NI ELVIS 工作站和 NI LabVIEW 界面, 设计控制室内的温度控制系统。训练仪中的控制室安装有温度传感器、热源和风扇。

QNET-013 垂直升降飞机训练仪用于以航空动力学方式介绍运动控制理论和执行机构的相关知识。系统主要组成包括悬臂、安装在悬臂前端的变速风扇, 并由旋转编码器轴读取反馈信号。

三、实验方案设计

首先, 教师根据实验设备提出几类实验项目, 让同学们选择其中一类作为课内实验, 在教学大纲规定的 8 个学时内完成, 提交实验报告。另外的实验项目作为开放实验, 学生可以预约实验以提高自己的理论知识和动手能力。我们根据所购置的 4 种插入版, 提出了以下几个实验项目, 每一类实验项目含有几个实验项目。

实验项目一: QNET DCMCT 直流电机实验

实验设备及软件: 计算机 1 台, NI ELVIS 1 台, Quanser DC Motor 板 1 块。LabVIEW 软件, NI ELVIS 驱动软件, 及实验相关 VI 程序。

实验 1 建立直流电机模型及验证。实验目的和要求:

1. 掌握建立直流电机模型的实验方法。
2. 验证电机模型, 调整模型参数, 获取最佳电机电压与转速之间的传递函数。
3. 利用 LabVIEW 工具包来辨识直流电机电压与转速之间的传递函数, 验证电机模型。

实验 2 PI 控制器设计及验证。实验目的和要求:

1. 掌握通过闭环系统的性能指标即自然振荡频率与阻尼比来确定电机速度控制器的 PI 参数。
2. 利用 LabVIEW 控制设计和仿真模块, 通过数字仿真的方式来验证设计好的 PI 控制器。
3. 观察记录设计的 PI 控制器在控制实际电机时的控制效果并分析。

实验 3 PD 控制器设计及验证。实验目的和要求:

掌握通过闭环系统的性能指标即自然振荡频率与阻尼比来确定电机位置 PD 控制器的参数。利用 LabVIEW 控制设计和仿真模块, 通过数字仿真的方式验证设计好的电机位置控制器。观察记录设计的 PD 控制器在控制实际电机时的控制效果并分析。

实验项目二: QNET ROTPEN 旋转倒立摆实验

实验设备及软件: 计算机 1 台, NI ELVIS 1 台, Quanser ROTPEN 旋转倒立摆训练仪板 1 块。LabVIEW 软件, NI ELVIS 驱动软件, 及实验相关 VI 程序。

实验 1 系统简化及建模。实验目的和要求:

1. 对倒立摆臂上的直流电机进行开环控制。
2. 绘出对应的臂和摆角度与作用电压的对应关系。

3. 估算并推断倒立摆系统的各个规格参数，建立模型。

实验2 平衡控制器设计。实验目的和要求：

1. 了解旋转倒立摆的状态空间矩阵模型，修改状态空间模型中的参数值并观察变化。
2. 利用线性二次优化技术设计出旋转倒立摆的平衡控制器模型。
3. 仿真倒立摆系统的闭环响应。

实验3 摇摆控制。实验目的和要求：

1. 实现设计的平衡控制器控制，设置参数组合控件值。
2. 观察带摩擦补偿的平衡控制，能量控制，混合摇摆控制三种不同方式。
3. 实验结果记录与分析。
4. 实验中应确保编码器线缆不会和倒立摆臂出现缠绕。

实验项目三：QNET HVAC 温度控制实验

实验设备及软件：计算机1台，NI ELVIS 1台，Quanser HVAC 训练仪板1块。LabVIEW 软件，NI ELVIS 驱动程序，及实验相关 VI 程序。

实验1 温度开关控制。实验目的和要求：

1. 熟悉 Quanser HVAC 装置，了解温度对象的特点。
2. 掌握继电器控制算法。
3. 建立温度对象模型。

实验2 PI 控制器设计及验证。实验目的和要求：

1. 掌握 PI 控制器参数整定方法。
2. 设计 PI 控制器，观测控制效果。
3. 了解抗积分饱和算法。
4. 实验结果记录与分析。

实验项目四：QNET VTOL 垂直升降飞机实验

实验设备及软件：计算机1台，NI ELVIS 1台，Quanser VTOL 垂直升降飞机训练仪板1块。LabVIEW 软件，NI ELVIS 驱动程序，及实验相关 VI 程序。

实验1 电流控制。实验目的和要求：

1. 学会组装垂直升降飞机，并使用相关软件。
2. 检测装置的电阻，计算垂直升降飞机水平飞行状态的电流。
3. 根据参数，设计一个电流控制方案。

实验2 建模。实验目的和要求：

1. 测量平衡电流，计算自然频率。
2. 确立模型并验证。
3. 使用系统工具确定结果。

实验 3 飞行控制。实验目的和要求：

1. 测量和分析系统的稳态误差。
2. 设计 PD 控制器，观测控制效果。
3. 设计 PID 控制器，观测控制效果。
4. 实验结果记录与分析。

四、结语

在以上软硬件系统构建、实验方案设计的基础上，我们在 2014，2015 两个学年开展了自动化专业“自动控制原理（A）”“控制工程与技术”和“机器人技术”等课程的教学工作，从教学效果以及学生反馈的情况来看，达到了预期的效果。

参考文献

- [1] Quanser Inc. QNET Practical Control Guide, 2011.
- [2] Quanser Inc. QNET DC Motor Control Trainer User Manual, 2011.
- [3] Quanser Inc. QNET Rotary Pendulum Control Trainer User Manual, 2011.
- [4] Quanser Inc. QNET Heating-Ventilations Trainer User Manual, 2011.
- [5] Quanser Inc. QNET VTOL Control Trainer User Manual, 2011.
- [6] 《Modern Control Systems》（第九版），Richard C. Dorf Robert H. Bishop 著，科学出版社，2002 年。
- [7] Katsubiko Ogata 著. 卢伯英 于海勋译. 现代控制工程，（第四版），电子工业出版社，2003 年。
- [8] 吴启迪等译. 自动控制工程，（一、二册），同济大学出版社。