

1.1 《自动控制系统设计及应用》综合实训教学大纲

一、实训课名称

中文：自动控制系统设计及应用

英文：Applications and Design of Automatic Control Systems

二、实训课性质：独立设课

三、适用专业：自动化专业、电气工程及其自动化专业

四、采用教材

马慧 张秀玲. 自动控制理论实验及综合系统设计. 武汉：华中科技大学出版社, 2008.10

夏德铃, 翁贻方. 自动控制理论：第3版. 北京：机械工业出版社, 2007.6

刘豹, 唐万生. 现代控制理论：第3版. 北京：机械工业出版社, 2006.7

汪贵平, 李登峰, 龚贤武, 等. 新编单片机原理及应用. 北京：机械工业出版社, 2011

李全利等. 单片机原理及接口技术. 北京：高等教育出版社, 2011

于海生, 丁军航, 潘松峰, 等. 微型计算机控制技术：第2版. 北京：清华大学出版社, 2009.9

王兆安. 电力电子技术. 北京：机械工业出版社, 2009

顾绳谷. 电机及拖动基础（上）：第3版. 北京：机械工业出版社, 2004

顾绳谷. 电机及拖动基础（下）：第3版. 北京：机械工业出版社, 2004

刘介才. 工厂供电：第5版. 北京：机械工业出版社, 2010

谭浩强. C语言程序设计：第4版. 北京：清华大学出版社, 2010

李涛. C++面向对象程序设计. 北京：高等教育出版社, 2006

蔡自兴. 机器人学基础. 北京：机械工业出版社, 2009

陈夕松, 汪木兰. 过程控制系统：第2版. 北京：科学出版社, 2011

苏奎峰 吕强 常天庆. DSP原理及C程序开发. 北京：北京航空航天大学出版社, 2008

五、学时学分

综合实训总学时：4周； 课程总学分：4；

六、综合性/设计性实训项目名称和学时分配

序号	实训项目名称	学时分配	实训属性	实训类型	实训者类别	每组人数	必开/选开
1	直线电机倒立摆系统的建模、分析与控制器设计	4	专业类	综合性	本科生	5	选开
2	柔性制造系统的认知与设计性实验	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
3	GBB系列球杆系统的设计、建模与控制器设计	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
4	过程控制综合实验装置的认知、研究与开发	4	专业类	综合性	本科生	5	选开

5	电气传动数字控制系统综合实验	4	专业类	综合性	本科生	5	选开
6	无人值守远程监控系统的研究与开发	4	专业类	综合性	本科生	5	选开
7	声音导引系统的设计与开发	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
8	无线环境监测模拟装置的设计与开发	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
9	开关电源模块并联供电系统的设计与开发	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
10	基于自由摆平板控制系统的设计与开发	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
11	智能小车系统的设计与开发	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
12	光伏并网发电模拟装置的设计与开发	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
13	开关稳压电源设计与制作	4	专业类	设计性	本科生	5	选开
14	全国大学生电子设计竞赛	4	专业类	设计性	本科生	3	选开
15	全国大学生飞思卡尔杯智能汽车竞赛	4	专业类	设计性	本科生	3	选开
16	中国机器人大赛暨 RoboCup 公开赛	4	专业类	设计性	本科生	3	选开
17	“博创杯”全国大学生嵌入式物联网设计大赛	4	专业类	设计性	本科生	3	选开
18	陕西省大学生德州仪器（TI）杯竞赛	4	专业类	设计性	本科生	3	选开

七、实训教学的目的和要求

综合性/设计实训教学是培养学生的动手能力和创新精神的重要教学环节。通过本课程的学习，使学生了解控制理论及其应用、自动化系统、机电传动控制的一般知识，掌握电机、电器、晶闸管等的工作原理、特性、应用和选用的方法，掌握控制理论的开环、闭环控制系统的工作原理、特点、特性及应用场合，了解最新控制技术在机械设备中的应用，能运用所学知识进行控制器的设计，达到学以致用目的。具体的实训目的与要求如下：

实训目的：学生在掌握课程基本内容的基础上，通过实训进一步验证、巩固和深化学过的理论知识，受到必要的基本技能训练，培养严谨的科学作风，为以后科研工作中独立从事系统设计和科学研究打下理论及实践两方面的坚实基础。

实训要求：了解自动控制系统设计及应用的发展动向及最新技术，掌握控制系统必须的基础理论知识，如：自动控制理论、软件技术、电机、电力电子器件等的工作原理、特性、应用和选用方法，掌握常用自动控制系统的工作原理、特点、分析与设计方法，掌握常用的直流调速、交流调速以及伺服控制等各种开环、闭环控制系统的工作原理、特点、性能以及应用，通过具体的应用实例和试验环节，提高学生分析问题、解决问题和科研创新的能力。

八、单项实训的内容和要求

实训项目 1: 直线电机倒立摆系统的建模、分析与控制器设计

(4 周)

(一) 实训目的

通过该实验,使学生掌握控制系统的建模、分析和控制器设计方法,以直线电机倒立摆系统为被控对象,提高仿真计算、Matlab 仿真和硬件平台的实验能力,可以促进学生对经典和现代控制理论与技术的理解,促进科研创新。

(二) 实训内容

针对直线电机倒立摆系统,完成系统建模、分析、PID 和先进控制器设计,并利用 Matlab 软件进行仿真。同时,利用微纳科技直线电机平台与倒立摆系统,完成 PID 和先进控制器的实验验证和控制性能分析。

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	微纳科技直线电机平台 与倒立摆	1	2	
2	微型计算机	1	2	Matlab 软件 cSPACE 软件

(四) 实训要求

1、基本要求

(1) 分析并推导系统的数学模型,求解系统的状态空间方程和传递函数,并完成稳定性和能控能观性分析。

(2) PID 控制器的设计, Matlab 仿真与分析。

(3) 倒立摆系统模型的离散化和数字 PID 控制器设计与仿真。

(4) 极点配置控制器设计与 Matlab 仿真。

(5) LQR 控制器设计与 Matlab 仿真。

(6) 微纳科技直线电机平台与倒立摆系统平台的认知与 PID 控制实验。

(7) 在微纳科技直线电机平台与倒立摆系统平台上完成极点配置控制实验。实验要保持倒立状态,当系统受到扰动后仍保持稳定。记录控制结果曲线,并进行讨论。

2、发挥部分

(1) 重新选择一组(或多组)期望的闭环极点,设计系统状态极点配置反馈阵的参数,在倒立摆系统平台上完成极点配置控制实验,记录控制结果曲线,并和第二条的实验结果进行比较分析。采用键盘复用的方法,实现小数点或负数输入功能。

(2) 在微纳科技直线电机平台与倒立摆系统平台上完成直线电机倒立摆系统的 LQR 控制实验。

(3) 以倒立摆系统模型为控制对象,设计变结构、自适应模糊控制等先进控制算法,并完成控制算法的仿真与分析。

(4) 考虑检测和控制数据的时延和丢包，设计先进的控制算法和 Matlab 仿真程序，验证控制算法的有效性，并进行比较分析。

(五) 实训说明

1、系统简介。微纳科技直线电机平台与倒立摆系统由 U 型永磁直线伺服电机、机械运动平台、精密线性导轨、反馈光栅和数字伺服驱动器构成。它可通过计算机 232 接口对平台底层参数进行设置，同时通过我们的 cSPACE 硬件在回路 (HIL) 控制卡对平台进行运动控制研究。在直线电机运动控制创新实验平台上，可以完成大部分与控制理论相关的运动控制实验，由于它和 SIMULINK 结合，可以利用 MATLAB 资源搭建各种控制器，对不同的控制算法进行研究。微纳科技直线电机平台与倒立摆系统硬件平台如图 1 所示。

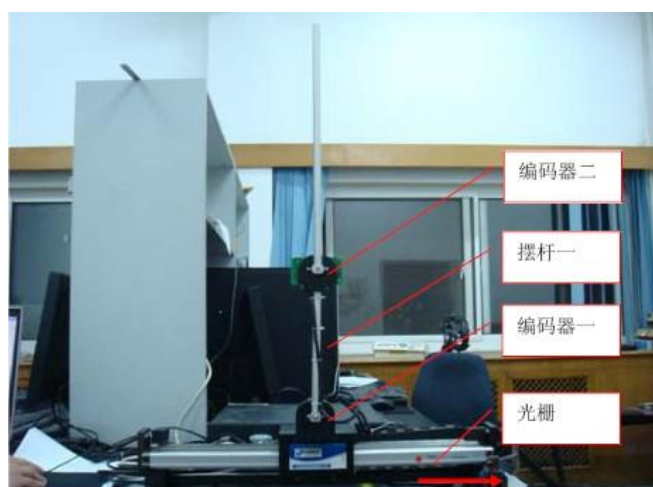


图 1 微纳科技直线电机平台与倒立摆系统

2、设计报告正文中应包括结果演示、重要的源程序和完整的测试结果等。

(六) 评分标准

	项目	主要内容	满分
设计报告	系统建模与分析	比较与选择；方案描述	4
	控制器设计	经典与控制算法的设计	9
	程序设计与仿真	给出仿真程序源代码	9
	测试结果与分析	测试结果及其完整性；测试结果分析	5
	实验报告结构及规范性	摘要；设计报告正文的结构；图标的规范性	3
	总分		30
基本要求	控制算法的设计与完成情况		50
发挥部分	完成第 (1) 项		4
	完成第 (2) 项		4
	完成第 (3) 项		5
	完成第 (4) 项		5
	其他		2
	总分		20

实训项目 2: 柔性制造系统的认知与设计性实验 (4 周)

(一) 实训目的

掌握以 PLC 为核心的电气系统设计能力, 掌握工业控制 HMI 编程技术, 掌握现场总线通信技术, 熟悉工业控制制造系统的运行过程, 熟悉先进制造系统从原料供给、运输、搬运、加工, 到组合装配, CCD 非接触图像检测, 最后分类存贮的自动化加工过程。

(二) 实训内容

在实验室现有柔性制造系统实验装置的基础上, 设计并实现一套工业先进自动化制造系统, 包括供料站、检测站、安装站、搬运站、立体存储站、转运站和环形传送站等单元的联合组装; 编写各站 PLC 控制程序, 实现系统的联动并使其流畅运行。

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配台件数	现有台数	备注
1	柔性制造系统实验装置	1	1	
2	微型计算机	1	1	组态软件
3	工业 HMI	1	1	

(四) 实训要求

1、基本要求

(1) 分析并设计先进制造系统的系统构成, 提出整体设计方案, 包括各站功能分析、连接方式、气动回路设计、控制线路设计和现场总线通信设计等;

(2) 设计并实现主站控制器 S7-300 的 PLC 程序;

(3) 设计并实现供料站、检测站、安装站、搬运站、立体存储站、转运站和环形传送站的从站控制器 S7-200 的 PLC 程序;

(4) 设计并实现 PROFIBUS-DP 现场总线通信协议;

(5) 设计 HMI 软件界面, 编写 HMI 与主站控制器 S7-300 的通信程序;

(6) 设计计算机控制界面, 使用组态软件编写计算机通信控制程序;

2、发挥部分

(1) 设计并实现 AGV 系统的计算机控制程序, 通过串口无线发射台完成与 AGV 的通信和调度, 完成工件在各功能模块之间的加工, 分拣等工艺流程。

(2) 利用远程摄像机, 设计并实现 AGV 运行监控系统, 通过网络实时传输系统运行视频, 根据要求远程调整 AGV 系统运行的路线。

(五) 实训说明

1、系统简介。柔性制造系统(Flexible Manufacturing System)简称 FMS, 是先进工业自动化及制造的基本部分, 它将先进制造系统的物料供给、分拣、加工、检测、无线通讯、图像处理、生产监控与管理、物流系统与立体仓库等主要功能模块抽象成基本实验模型, 如图 2-1 所示:

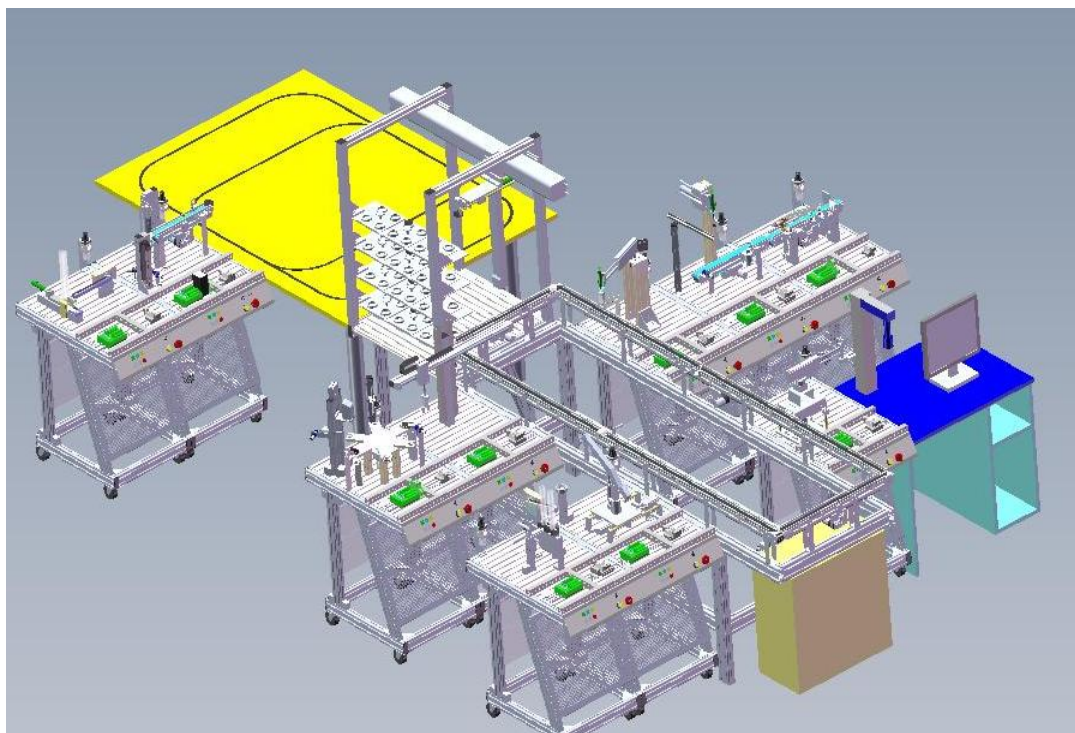


图 2-1 柔性制造系统实验装置示意图

FMS 系统工作流程：当接收到 MES 调度系统传送过来的生产订单信息和工件属性后，大立体仓库向系统输出所需的工件，放入环形传送带，工件随传送带到达各功能模块进行加工、组装、CCD 非接触图像检测、装配分拣等工作。而当立体仓库没有原料可以提供时，由补料单元组通过 AGV 物料运输系统向系统继续供料。系统的控制网络结构如图 3-2 所示。

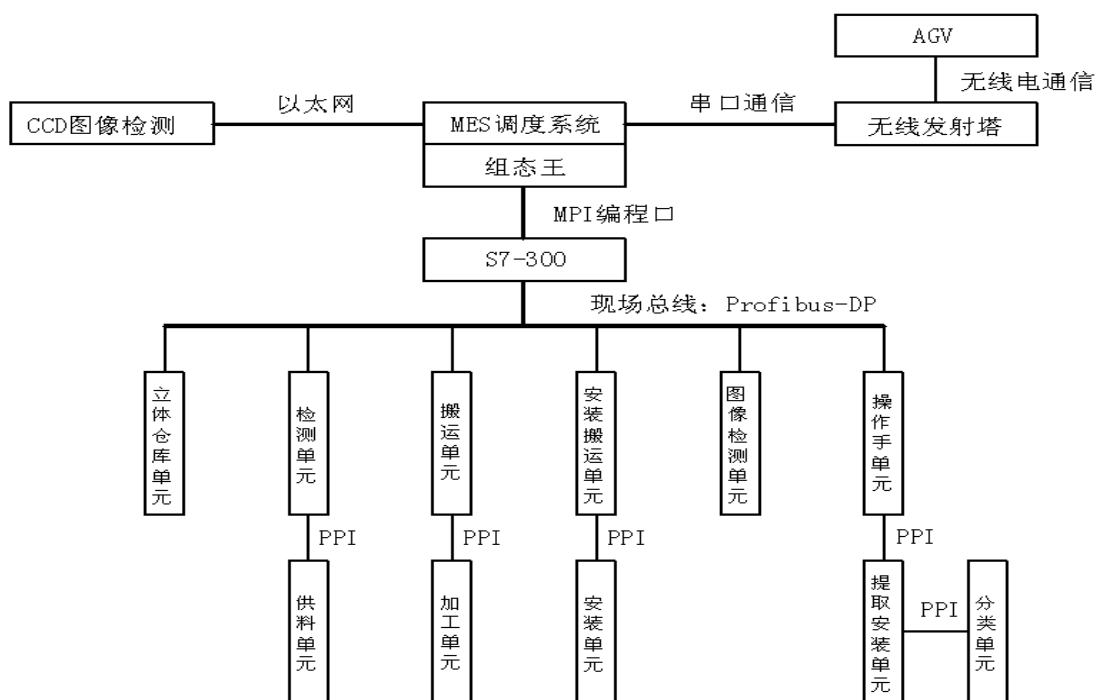


图 3-2 柔性制造系统控制网络结构图

2、应提交系统气动回路、控制线路的详细设计图纸，各站 PLC 程序和计算机控制程序

的完整源代码。

(六) 评分标准

	项目	主要内容	满分
设计 报告	系统方案设计	比较与选择；方案描述	4
	各站功能分析	各站的功能需求分析	6
	气动回路设计	气路布局和电磁阀控制	6
	控制线路设计	控制系统的布局和接线	6
	现场总线通信协议设计	主站和各从站的信号传递	4
	设计报告结构及规范性	摘要；设计报告正文的结构；图标的规范性	4
	总分		30
基本要求	柔性制造系统的设计与完成情况		50
发挥 部分	完成第（1）项		10
	完成第（2）项		15
	其他		2
	总分		20

实训项目 3: GBB 系列球杆系统的设计、建模与控制器设计 （4 周）

(一) 实训目的

以 GBB 球杆系统为被控对象，掌握实际物理模型的建模、分析和控制器设计方法，提高仿真计算、Matlab 仿真和硬件平台的实验能力，可以促进学生对经典和现代控制理论与技术的理解，促进科研创新。

(二) 实训内容

针对 GBB 球杆系统，分析并推导系统的数学模型，求解系统的状态空间方程和传递函数，完成系统的分析、PID 和先进控制器设计，并利用 Matlab 软件进行仿真。同时，利用 GBB 球杆系统，完成 PID 和先进控制器的实验验证和控制性能分析。

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	固高科技 GBB1004 系列球杆系统	1	0	
2	微型计算机	1	2	Matlab 软件

(四) 实训要求

1、基本要求

(1) 分析并推导系统的数学模型，求解系统的状态空间方程和传递函数，在 Matlab 下建立系统的 Simulink 模型并进行仿真。

- (2) 完成系统的稳定性和能控能观性分析。
- (3) 学习使用根轨迹法设计一个稳定的系统，进一步理解根轨迹的基本概念和根轨迹图所代表的含义，通过实验来验证增加零、极点以及开环增益对系统性能有何影响。
- (4) 利用频率响应法设计相角超前补偿器来获得稳定的系统。
- (5) 完成球杆系统数学模型的离散化，并进行 PID 和数字 PID 控制器的设计和 Matlab 仿真，分析对球杆系统的控制效果。
- (6) 极点配置控制器设计与 Matlab 仿真，并分析对球杆系统的控制效果。
- (7) 在固高科技 GBB1004 系列球杆系统平台上完成 MATLAB Simulink 环境下的 PID 实时控制实验，并分析控制效果。

2、发挥部分

(1) 在固高科技 GBB1004 系列球杆系统平台上完成极点配置控制实验。实验要保持倒立状态，当系统受到扰动后仍保持稳定。记录控制结果曲线，并进行讨论。

(2) 重新选择一组(或多组)期望的闭环极点，设计系统状态极点配置反馈阵的参数，在固高科技 GBB1004 系列球杆系统平台上完成极点配置控制实验，记录控制结果曲线，并和第二条的实验结果进行比较分析。采用键盘复用的方法，实现小数点或负数输入功能。

(3) 在固高科技 GBB1004 系列球杆系统平台上完成直线电机倒立摆系统的 LQR 控制实验。

(4) 以球杆系统的数学模型为控制对象，设计变结构、自适应模糊控制等先进控制算法，并完成控制算法的仿真与分析。

(五) 实训说明

1、系统简介。GBB 球杆系统 (Ball & Beam) 是为自动控制原理等基础控制课程的教学实验而设计的实验设备。其执行机构原理图 (如图 3-1 所示) 由一根 V 型轨道和一个不锈钢球组成。V 型槽轨道一侧为不锈钢杆，另一侧为直线位移电阻器。当球在轨道上滚动时，通过测量不锈钢杆上输出电压可测得球在轨道上的位置。V 型槽轨道的一端固定，而另一端则由直流电机 (DC motor) 的经过两级齿轮减速，再通过固定在大齿轮上的连杆带动进行上下往复运动。V 型槽轨道与水平线的夹角可通过测量大齿轮转动角度和简单的几何计算获得。这样，通过设计一个反馈控制系统调节直流电机的转动，就可以控制小球在轨道上的位置。

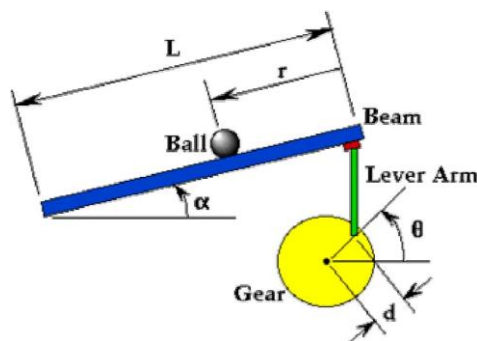


图 3-1 GBB 球杆系统执行机构原理图

GBB 球杆系统包括计算机、IPM100 智能伺服驱动器、球杆本体和光电码盘、线性传感器几大部分，组成了一个闭环系统。光电码盘将杠杆臂与水平方向的夹角、角速度信号反馈给 IPM100 智能伺服驱动器，小球的位移、速度信号由直线位移传感器反馈。智能伺服控制器可以通过 RS232 接口和计算机通讯，利用鼠标或键盘可以输入小球的控制位置和控制参数，通过控制决策计算输出（电机转动方向、转动速度、加速度等），并由 IPM100 智能伺服驱动器来实现该控制决策，产生相应的控制量，使电机转动，带动杠杆臂运动，使球的位置得到控制。

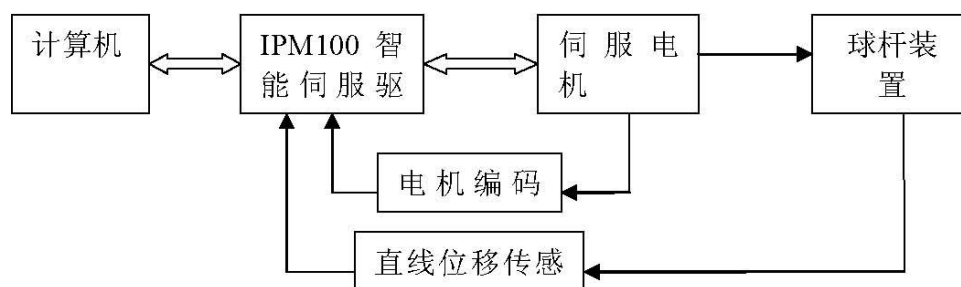


图 3-2 GBB 球杆系统组成原理图

2、设计报告正文中应包括结果演示、重要的源程序和完整的测试结果等。

(六) 评分标准

	项目	主要内容	满分
设计报告	系统建模与分析	比较与选择；方案描述	4
	控制器设计	经典与控制算法的设计	9
	程序设计与仿真	给出仿真程序源代码	9
	测试结果与分析	测试结果及其完整性；测试结果分析	5
	实验报告结构及规范性	摘要；设计报告正文的结构；图标的规范性	3
	总分		30
基本要求	控制算法的设计与完成情况		50
发挥部分	完成第（1）项		4
	完成第（2）项		4
	完成第（3）项		5
	完成第（4）项		5
	其他		2
	总分		20

实训项目 4：过程控制综合实验装置的认知、研究与开发（4 周）

(一) 实训目的

以 TKJ-2 型高级过程控制系统实验装置为对象，掌握过程控制系统的建模、分析和控制器设计方法。熟悉双容水箱的数学模型建立及其阶跃响应曲线，掌握和 MATLAB 软件和 MCGS 组态软件的使用，熟悉串级控制系统的结构与特点，掌握串级控制系统的投运与参

数的整定方法，研究调节器相关参数的改变对系统动态性能的印象，研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响。

(二) 实训内容

实训对象为水箱液位的串级控制系统，它是由主、副两个回路组成。主回路中的调节器称主调节器，控制对象为下水箱，作为系统的被控对象，下水箱的液位为系统的主控制量。副回路中的调节器称副调节器，控制对象为中水箱，它的输出是一个辅助的控制变量。图 4 为实验系统的结构图。系统稳态时，系统的被控制量等于给定值，实现无差调节。当有扰动出现于副回路或是主回路时，系统具有满意的动、静态性能。

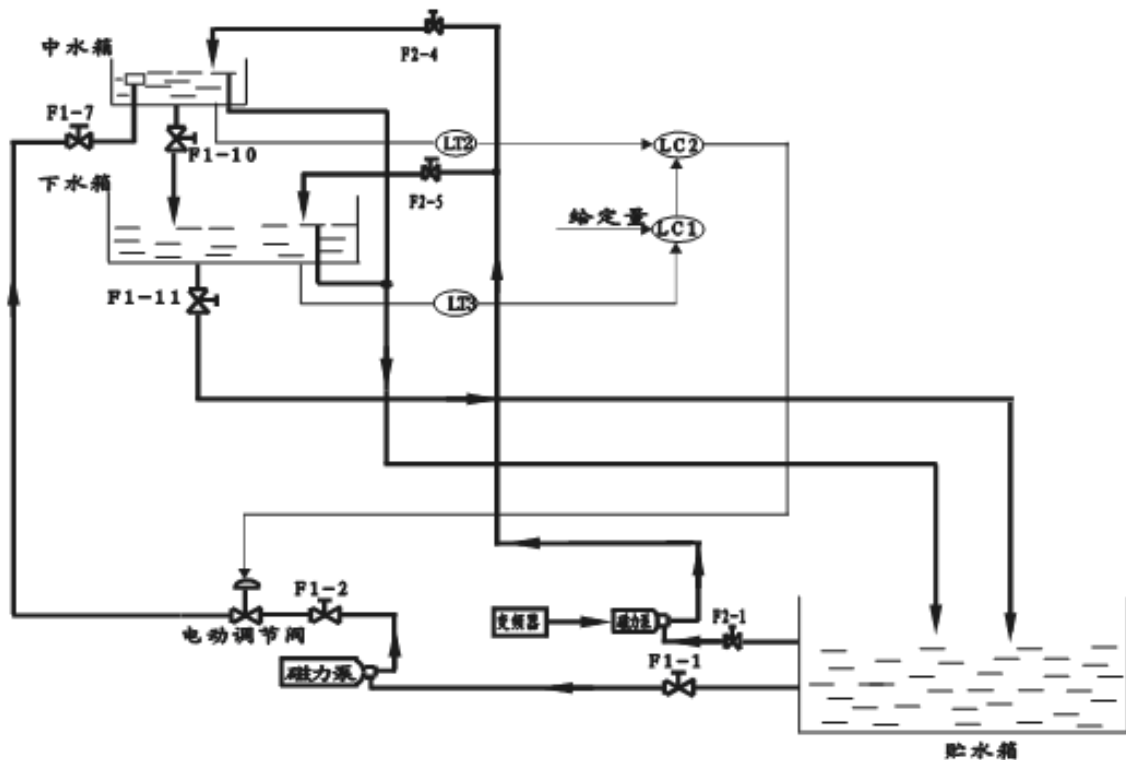


图 4 液位串级控制系统的结构图

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	TKJ-2 型高级过程控制系统实验装置	1	2	AI 调节仪表、PLC 可编程控制系统
2	微型计算机	1	2	Matlab 软件 MCGS 软件

(四) 实训要求

1、基本要求

- (1) 通过实验获得双容水箱阶跃响应曲线，获得双容水箱的数学模型。
- (2) 选用合适的控制器，以 TKJ-2 型高级过程控制系统实验装置下水箱作为主被控对象、采用工业用的扩散硅压力变送器作为检测元件、以变频调速磁力阀或者电动调节阀作为执行器构成一个双容水箱串级闭环控制系统，实现对下水箱液位的恒值控制。

(3) 控制器采用 PID 算法，各项控制性能满足要求：超调量 $\leq 20\%$ ，稳态误差 $\leq \pm 0.1$ ；调节时间 $t_s \leq 120s$ 。

(4) 利用 MCGS 组态软件建立双容水箱液位控制系统的监控界面，实现实时控制。MCGS 组态测控界面上，实时设定并显示液位给定值、测量值及控制器输出值；实时显示液位给定值实时曲线、液位测量值实时曲线和 PID 输出值实时曲线。

(5) 选择合适的整定方法确定 PID 参数，并能在组态测控界面上实时改变 PID 参数。

(6) 分析系统基本控制特性，并得出相应的结论。

2、发挥部分

(1) 采用电动调节阀作执行元件，变频调速磁力泵支路中的手控阀 F2-4 或 F2-5 打开时可分别作为中水箱或下水箱的扰动。

(2) 观察并记录阶跃扰动分别作用于副对象（中水箱）和主对象（下水箱）时对系统被控制量（下水箱液位）的响应过程。

(3) 通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。

(五) 实训说明

1、画出本实验系统的方框图。

2、记录双容水箱阶跃响应曲线数据，利用 MATLAB 建立上下水箱的传递函数模型。

3、通过测试，验证电动调节阀开度与控制信号的线性关系。

4、合理论证调节器参数的整定方法的使用。

5、通过实验求出输出响应呈 4: 1 衰减时的主调节器的参数，列表表示在此参数下，系统阶跃响应的动、静态性能。

6、记录扰动分别作用于主、副对象时系统输出的动态响应曲线，对此作出分析。

7、分析副调节器的比例度大小对系统动态性能的影响。

8、分析主调节器比例度 δ 和积分时间常数 T_i 的改变对系统动态性能的影响。

(六) 评分标准

	项目	主要内容	满分
设计 报告	方案论证	比较与选择；方案描述	4
	理论分析与计算	正确建立系统模型，合理整定 PID 参数，稳态和动态性能指标满足要求。	9
	电路与程序设计	分析各使用模块的性能，设计连接电路，软件设计合理有效。	9
	测试方案与测试结果	测试方案及测试条件；测试结果及其完整性；测试结果分析	5
	实验报告结构及规范性	摘要；设计报告正文的结构；图标的规范性	3
	总分		
基本要求	实际制作完成情况		50
发挥	方案论证		5

部分	测试方案与测试结果	7
	方案论证	8
	总分	20

实训项目 5：电气传动数字控制系统综合实验 （4 周）

（一）实训目的

通过设计和调试一套交、直流调速系统的实践，使学生巩固已学相关理论知识，按实验内容和要求制定实验方案，撰写实验预习报告。使学生实际接触调速系统常用控制元器件、各环节参数设计、调试及系统试验的实际操作；掌握正确的操作规程；掌握直流/交流调速系统的参数设计及调试方法。从而加深学生对相关课程理论内容的理解，提高学生分析和解决实际问题的能力，以及培养学生自主设计能力、综合实验能力、创新意识和创新能力为主导教学思想。

通过对系统和各个环节的设计调试，让学生不断感受到成功的快乐，激发学生的学习热情，使学生主动学习，主动设计、主动思考。

（二）实训内容：

设计并制作一个电气传动数字控制实验电路，其中直流电机母线电压 24V、40W、输出转速 1000r/min，交流异步电机线电压 36V、40W、输出转速 1000r/min。采用单相电源。直流电机采用 H 式 PWM 控制；交流电机采用 AC-DC-AC 结构，采用三相 PWM 逆变控制。要求完成相关主电路和控制电路的设计及制作。采用闭环无静差调速控制方案，完成数字测速、测电流和数字 PI 调节器的设计及程序调试。

（三）应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	电气传动数字控制实验平台	1	2	
2	微型计算机	1	2	Keil C 或 CCS3.3
3	工具箱	1	1	
4	元器件套件	若干		根据需求购买

（四）实训要求

1、基本要求

- （1）数字测速方法及编程调速；
- （2）电流数字检测方法及编程调试；
- （3）直流 PWM 数字控制程序编写及调试；
- （4）交流 PWM 数字控制程序编写及调试；
- （5）数字 PI 调节器的设计与编程调试；
- （6）能完成正反转和速度分时段运行。

2、发挥部分

- （1）电流及速度采样速率合理选择；

(2) 采样数据处理方法的确定和实现;

(3) 速度转差率 $\leq 5\%$ 。

(五) 实训说明

1、本实验中所有交流、直流量除特别说明外均为有效值。

2、直流电源可采用二极管不控整流方式。

3、控制电路允许另加辅助电源，但应尽量减少路数和损耗。

4、电路板采用模块化结构。

5、设计报告正文中应包括系统总体框图、核心电路原理图、主要流程图、主要的测试结果。完整的电路原理图、重要的源程序和完整的测试结果可用附件形式给出。

(六) 评分标准

	项 目	得 分
基本要求	设计与总结报告：方案设计论证，理论分析与计算，电路图，测试方法与数据，对测试结果的分析	25
	实际制作完成情况	25
发挥部分	电路板制作工艺水平	15
	采样数据处理方法的确定和实现	10
	电流及速度采样速率合理选择	10
	数字 PI 调节器参数设计	15

实训项目 6：无人值守远程监控系统的研究与开发 (4 周)

(一)、实验目的：

本项目要求结合计算机网络技术和机电控制技术，完成一个小型远程监控系统，通过软、硬件设计、调试和安装过程，掌握一个完整机电控制系统的开发过程，掌握机电控制系统软硬件开发能力。

(二)、实验内容：

完成一个小型可以无人值守的远程监控系统设计与开发，系统结构如图 6-1 所示。

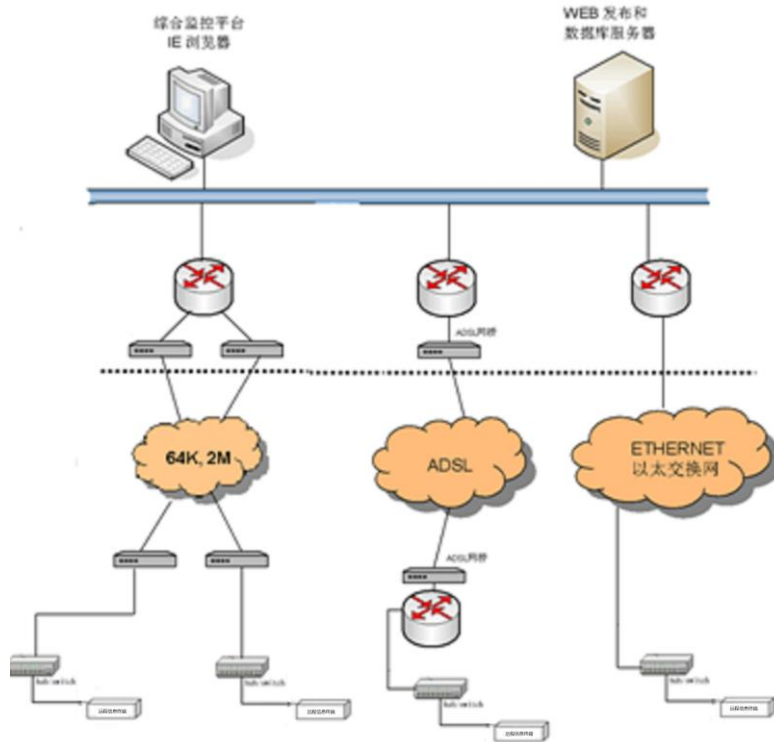


图 6-1 无人值守监控系统示意图

图中的网络传输部分可以利用校园网网络条件，系统包含远程监控终端和服务软件两部分。其中，远程监控终端连接各种传感器设备，实时收集传感器数据，通过网络将数据上传至中心服务器；中心服务器安装服务软件，接收远程终端传送的各种实时数据，提供网络访问接口，在数据发生异常时及时发送报警信息。

（三）应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	
2	工具箱	1	1	
3	元器件套件	若干		根据需求购买
4	各种传感器	若干		根据需求购买

（四）实训要求

1. 基本要求

（1）设计并制作远程监控终端的硬件系统，要求具备 8 路模拟量输入接口（AI），8 路数字量输入接口（DI）；

（2）远程监控终端可以连接温度传感器、湿度传感器、压力传感器、碰撞传感器、水浸传感器等；

（3）远程监控终端硬件具备网络接入功能；

(4) 设计并实现远程终端的软件系统，要求保证数据采集的实时性，更新频率不大于 200ms，网络兼容 TCP/IP 协议；

(5) 远程终端硬件具备串行通信功能，实现终端控制台，方便故障检查和本地配置；

(6) 设计并实现基于 TCP 的数据实时传输与报警的网络通信协议；

(7) 设计并实现基于 B/S 模式的中心服务软件，要求具备 Web 发布功能，允许用户通过 80 端口远程访问，数据更新频率不小于远程终端数据采集频率。

2. 发挥部分

(1) 远程终端的硬件系统具备数字量输出接口 (DO)，8 路继电器输出 (常开/常闭)；

(2) 远程终端支持 Web 访问界面，可以远程配置、故障诊断、数据查询；

(3) 设计并实现基于 UDP 的远程终端在线查询协议，方便对多台远程终端进行远程管理；

(4) 中心服务软件支持数据库，存储历史数据，软件界面支持数据查询、历史数据曲线、报警日志查询等功能；

(5) 中心服务软件具备用户管理功能，用户分级管理，数据库存储用户登录日志。

(五) 实训说明

1、远程终端硬件系统可以基于单片机最小系统实现，推荐使用 STM32 等 32 位处理器，以便完成复杂功能；

2、系统硬件需要自行设计开发，不能使用购买的成熟网络终端开发平台；

3、远程终端硬件需提供原理图、PCB 图、接口说明书和使用说明书；

4、中心服务软件可以选用 C++、C#、JAVA 等面向对象高级语言开发，最终必须生成发布版本，不能用源代码运行；

(六) 评分标准

	项目	主要内容	满分
设计 报告	系统总体设计方案	比较与选择；方案描述	4
	远程终端功能分析	功能和接口分析	4
	远程终端硬件	电路原理图设计	3
	远程终端软件	给出程序源代码	3
	网络通信协议设计	数据实时传输与报警	6

	中心服务器软件设计	软件架构、流程图、模块调用关系	10
	总分		30
基本要求	整个监控系统的完成情况		50
发挥部分	完成第(1)项		3
	完成第(2)项		3
	完成第(3)项		3
	完成第(4)项		8
	完成第(5)项		3
	总分		20

实训项目 7: 声音导引系统的设计与开发 (4 周)

(一) 实训目的

通过实验了解声音导航的原理, 掌握自动控制系统的建模、分析方法, 通过对声音引导系统的设计与开发, 掌握基于单片机设计的自动控制系统的基本设计方法。

(二) 实训内容

设计并制作一声音导引系统, 示意图如图 7-1 所示。

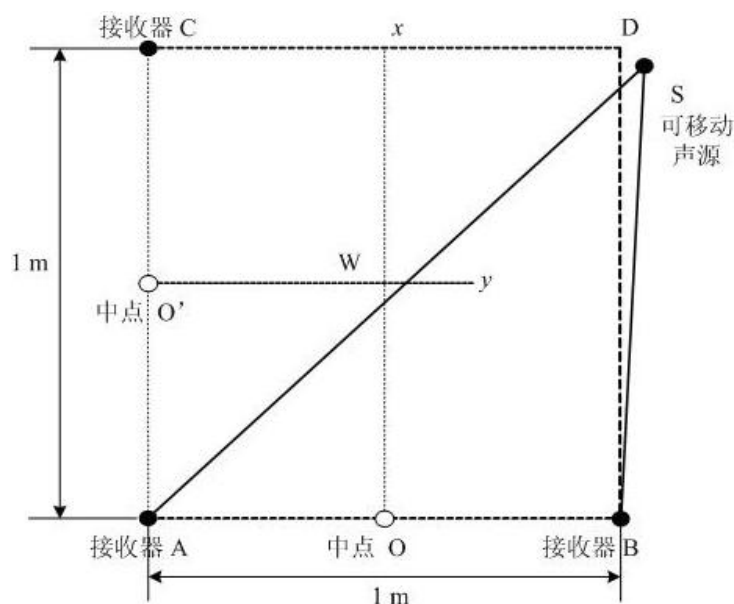


图 7-1 系统示意图

图 7-1 中, AB 与 AC 垂直, OX 是 AB 的中垂线, $O'y$ 是 AC 的中垂线, W 是 OX 和 $O'y$ 的交点。声音导引系统有一个可移动声源 S , 三个声音接收器 A 、 B 和 C , 声音接收器之间可以有有线连接。声音接收器能利用可移动声源和接收器之间的不同距离, 产生一个可移动声源离 OX 线 (或 $O'y$ 线) 的误差信号, 并用无线方式将此误差信号传输至可移动声源, 引导其运动。可移动声源运动的起始点必须在 OX 线右侧, 位置可以任意指定。

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	
2	工具箱	1	1	
3	元器件套件	若干		根据需求购买

(四) 实训要求

1. 基本要求

(1) 制作可移动的声源。可移动声源产生的信号为周期性音频脉冲信号，如图 7-2 所示，声音信号频率不限，脉冲周期不限。

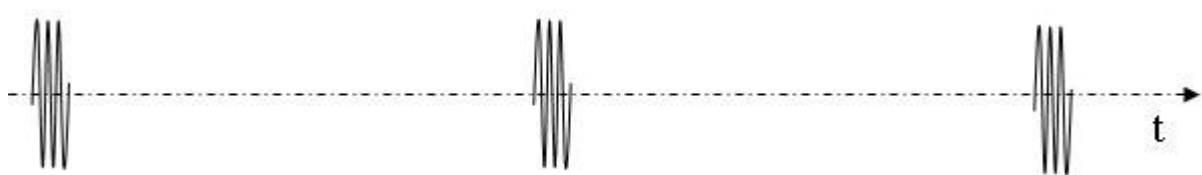


图 7-2 信号波形示意图

(2) 可移动声源发出声音后开始运动，到达 OX 线并停止，这段运动时间为响应时间，测量响应时间，用下列公式计算出响应的平均速度，要求平均速度大于 5 cm/s 。

$$\text{速度} = \frac{\text{可移动声源的起始位置到}OX\text{线的垂直距离}}{\text{响应时间}}$$

- (3) 可移动声源停止后的位置与 OX 线之间的距离为定位误差，定位误差小于 3 cm 。
- (4) 可移动声源在运动过程中任意时刻超过 OX 线左侧的距离小于 5 cm 。
- (5) 可移动声源到达 OX 线后，必须有明显的光和声指示。
- (6) 功耗低，性价比高。

2. 发挥部分

- (1) 将可移动声源转向 180 度（可手动调整发声器件方向），能够重复基本要求。
- (2) 平均速度大于 10 cm/s 。
- (3) 定位误差小于 1 cm 。
- (4) 可移动声源在运动过程中任意时刻超过 OX 线左侧距离小于 2 cm 。
- (5) 在完成基本要求部分移动到 OX 线上后，可移动声源在原地停止 $5\text{ s} \sim 10\text{ s}$ ，然后利用接收器 A 和 C ，使可移动声源运动到 W 点，到达 W 点以后，必须有明显的光和声指示并停止，此时声源距离 W 的直线距离小于 1 cm 。整个运动过程的平均速度大于 10 cm/s 。

$$\text{平均速度} = \frac{\text{可移动声源在}OX\text{线上重新启动位置到移动停止点的直线距离的起始位置到}OX\text{线的垂直距离}}{\text{再次运动时间}}$$

- (6) 其他。

(五) 实训说明

1、本题必须采用组委会提供的电机控制 ASSP 芯片（型号 MMC-1）实现可移动声源的运动。

2、在可移动声源两侧必须有明显的定位标志线，标志线宽度 0.3 cm 且垂直于地面。

3、误差信号传输采用的无线方式、频率不限。

4、可移动声源的平台形式不限。

5、可移动声源开始运行的方向应和 OX 线保持垂直。

6、不得依靠其他非声音导航方式。

7、移动过程中不得人为对系统施加影响。

8、接收器和声源之间不得使用有线连接。

(六)、评分标准

	项目	主要内容	分数
设计报告	系统方案	整体方案比较	7
		控制方案	
	设计与论证	设计、计算	12
		误差信号产生	
		控制理论简单计算	
	电路设计	系统组成	3
		各种电路图	
	测试结果	测试数据完整性	3
		测试结果分析	
	设计报告	摘要	5
正文结构完整性			
图表的规范性			
总分			30
基本要求	基本要求实际完成情况		50
发挥部分	完成第（1）项		3
	完成第（2）项		3
	完成第（3）项		3
	完成第（4）项		4
	完成第（5）项		4
	完成第（6）项		3
	总分		

实训项目 8：无线环境监测模拟装置的设计与开发 （4 周）

（一）实训目的

通过本实验了解无线监测技术，掌握自动控制系统的建模、分析方法，通过对无线环境监测模拟装置的设计与开发，掌握基于单片机设计的自动控制系统的基本设计方法

（二）实训内容

设计并制作一个无线环境监测模拟装置，实现对周边温度和光照信息的探测。该装置由 1 个监测终端和不多于 255 个探测节点组成（实际制作 2 个）。监测终端和探测节点均含一套无线收发电路，要求具有无线传输数据功能，收发共用一个天线。

（三）、应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配台件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	
2	工具箱	1	20	
3	元器件套件	若干		根据需求购买

（四）实训要求

1、基本要求

（1）制作 2 个探测节点。探测节点有编号预置功能，编码预置范围为 00000001B~11111111B。探测节点能够探测其环境温度和光照信息。温度测量范围为 0℃~100℃，绝对误差小于 2℃；光照信息仅要求测量光的有无。探测节点采用两节 1.5V 干电池串联，单电源供电。

（2）制作 1 个监测终端，用外接单电源供电。探测节点分布示意图如图 1 所示。监测终端可以分别与各探测节点直接通信，并能显示当前能够通信的探测节点编号及其探测到的环境温度和光照信息。

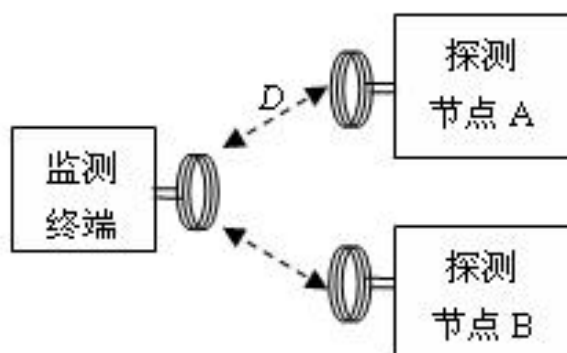


图 8-1 探测节点分布示意图

（3）无线环境监测模拟装置的探测时延不大于 5 s，监测终端天线与探测节点天线的距离 D 不小于 10 cm。在 0~10 cm 距离内，各探测节点与监测终端应能正常通信。

2、发挥部分

（1）每个探测节点增加信息的转发功能，节点转发功能示意图如图 2 所示。即探测节点 B 的探测信息，能自动通过探测节点 A 转发，以增加监测终端与节点 B 之间的探测距离 $D + D_1$ 。该转发功能应自动识别完成，无需手动设置，且探测节点 A、B 可以互换位置。

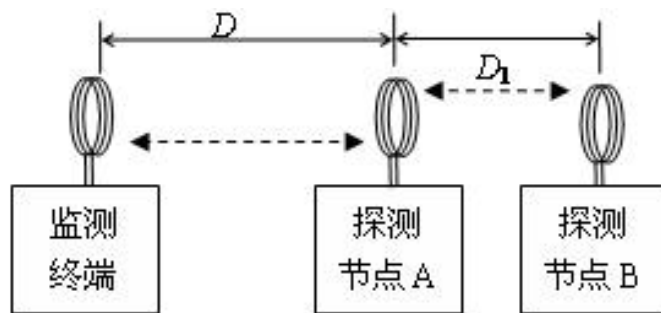


图 8-2 节点转发功能示意图

(2) 在监测终端电源供给功率 $\leq 1W$ ，无线环境监测模拟装置探测时延不大于 $5s$ 的条件下，使探测距离 $D+D_1$ 达到 $50cm$ 。

(3) 尽量降低各探测节点的功耗，以延长干电池的供电时间。各探测节点应预留干电池供电电流的测试端子。

(4) 其他。

(五) 实训说明

1、监测终端和探测节点所用天线为圆形空芯线圈，用直径不大于 $1mm$ 的漆包线或有绝缘外皮的导线密绕 5 圈制成。线圈直径为 $(3.4\pm 0.3)cm$ （可用一号电池作骨架）。天线线圈间的介质为空气。无线传输载波频率低于 $30MHz$ ，调制方式自定。监测终端和探测节点不得使用除规定天线外的其他耦合方式。无线收发电路需自制，不得采用无线收、发成品模块。光照有无的变化，采用遮挡光电传感器的方法实现。

2、发挥部分须在基本要求的探测时延和探测距离达到要求的前提下实现。

3、测试各探测节点的功耗采用图 2 所示的节点分布图，保持距离 $D+D_1=50cm$ ，通过测量探测节点 A 干电池供电电流来估计功耗。电流测试电路见图 3。图中电容 C 为滤波电容，电流表采用 3 位半数字万用表直流电流档，读正常工作时的最大显示值。如果 $D+D_1$ 达不到 $50cm$ ，此项目不进行测试。

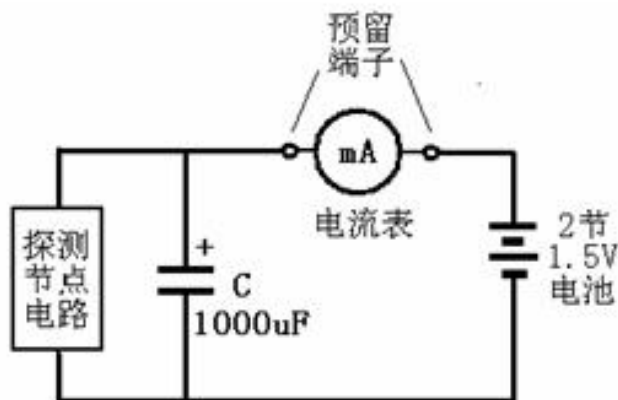


图 8-3 节点电流测试电路

4、设计报告正文中应包括系统总体框图、核心电路原理图、主要流程图、主要的测试结果。完整的电路原理图、重要的源程序用附件给出。

(六) 评分标准

	项 目	主要内容	满分
报 告	系统方案	无线环境监测模拟装置总体方案设计	4
	理论分析与计算	发射电路分析 接收电路分析 通信协议分析	6
	电路与程序设计	发射电路设计计算 接收电路设计计算 总体电路图 工作流程图	9
	测试方案与测试结果	调试方法与仪器 测试数据完整性 测试结果分析	6
	设计报告结构及规范性	摘要 设计报告正文的结构 图表的规范性	5
	总分		30
	基本 要求	实际制作完成情况	50
发 挥 部 分	完成第(1)项		4
	完成第(2)项		6
	完成第(3)项		6
	其他		4
	总分		20

实训项目 9：开关电源模块并联供电系统的设计与开发 (4周)

(一) 实训目的

通过本实验掌握多个电源模块并联使用时各电压的电流分配及实现供电系统的过流保护问题。

(二) 实训内容

设计并制作一个由两个额定输出功率均为16W的8V DC/DC模块构成的并联供电系统(见图9)。

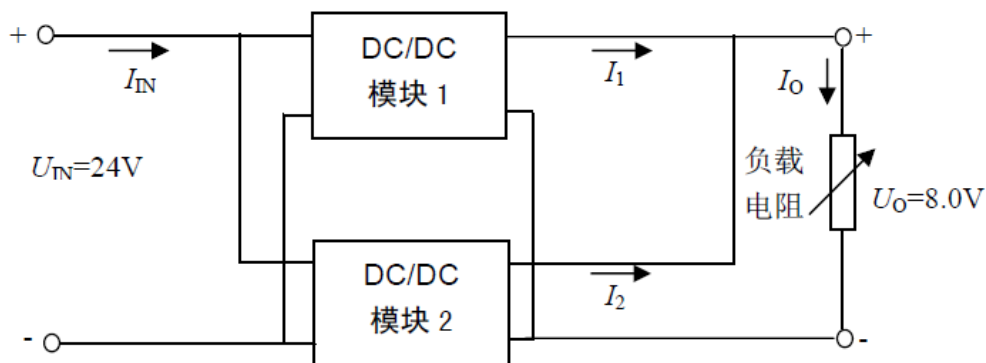


图 8 两个 DC/DC 模块并联供电系统主电路示意图

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	
2	工具箱	1	20	
3	元器件套件	若干		根据需求购买

(四) 实训要求

1、基本要求

(1) 调整负载电阻至额定输出功率工作状态，供电系统的直流输出电压 $U_o = 8.0 \pm 0.4V$ 。

(2) 额定输出功率工作状态下，供电系统的效率不低于60%。

(3) 调整负载电阻，保持输出电压 $U_o = 8.0 \pm 0.4V$ ，使两个模块输出电流之和 $I_o = 1.0A$ 且按 $I_1 : I_2 = 1:1$ 模式自动分配电流，每个模块的输出电流的相对误差绝对值不大于5%。

(4) 调整负载电阻，保持输出电压 $U_o = 8.0 \pm 0.4V$ ，使两个模块输出电流之和 $I_o = 1.5A$ 且按 $I_1 : I_2 = 1:2$ 模式自动分配电流，每个模块输出电流的相对误差绝对值不大于5%。

2、发挥部分

(1) 调整负载电阻，保持输出电压 $U_o = 8.0 \pm 0.4V$ ，使负载电流 I_o 在 $1.5 \sim 3.5A$ 之间变化时，两个模块的输出电流可在 $(0.5 \sim 2.0)$ 范围内按指定的比例自动分配，每个模块的输出电流相对误差的绝对值不大于2%。

(2) 调整负载电阻，保持输出电压 $U_o = 8.0 \pm 0.4V$ ，使两个模块输出电流之和 $I_o = 4.0A$ 且按 $I_1 : I_2 = 1:1$ 模式自动分配电流，每个模块的输出电流的相对误差的绝对值不大于2%。

(3) 额定输出功率工作状态下，进一步提高供电系统效率。

(4) 具有负载短路保护及自动恢复功能，保护阈值电流为 4.5A（调试时允许有 $\pm 0.2A$ 的偏差）。

(5) 其他。

(五) 实训说明

(1) 不允许使用线性电源及成品的 *DC/DC* 模块。

(2) 供电系统含测控电路并由 U_{IN} 供电，其能耗纳入系统效率计算。

(3) 除负载电阻为手动调整以及发挥部分 (1) 由手动设定电流比例外，其他功能的测试过程均不允许手动干预。

(4) 供电系统应留出 U_{IN} 、 U_O 、 I_{IN} 、 I_O 、 I_1 、 I_2 参数的测试端子，供测试时使用。

(5) 每项测量须在 5 秒钟内给出稳定读数。

(6) 设计制作时，应充分考虑系统散热问题，保证测试过程中系统能连续安全工作。

(六) 评分标准

项目				
	报告要点	主要内容	满分	
设计报告	系统方案	比较与选择、方案描述	2	
	理论分析与计算	DC/DC 变换器稳压方法； 电流电压检测；均流方法；过流保护。	8	
	电路设计	主电路、测控电路原理图及说明	6	
	测试结果	测试结果完整性、测试结果分析	6	
	结构及规范性	摘要、设计报告正文的结构及图表规范性	2	
	总分			20
	基本要求	实际制作情况		50
发挥部分	完成第 (1) 项		8	
	完成第 (2) 项		3	
	完成第 (3) 项		3	
	完成第 (4) 项		3	
	完成第 (5) 项		3	
	总分			20

实训项目 10: 基于自由摆平板控制系统的设计与开发 (4周)

(一) 实训目的

掌握自动控制系统的建模、分析方法, 以及基于单片机的自动控制系统的硬件系统及软件系统设计。

(二) 实训内容

设计并制作一个自由摆上的平板控制系统, 其结构如图10-1所示。

摆杆的一端通过转轴固定在一支架上, 另一端固定安装一台电机, 平板固定在电机转轴上; 当摆杆如图10-2 摆动时, 驱动电机可以控制平板转动。

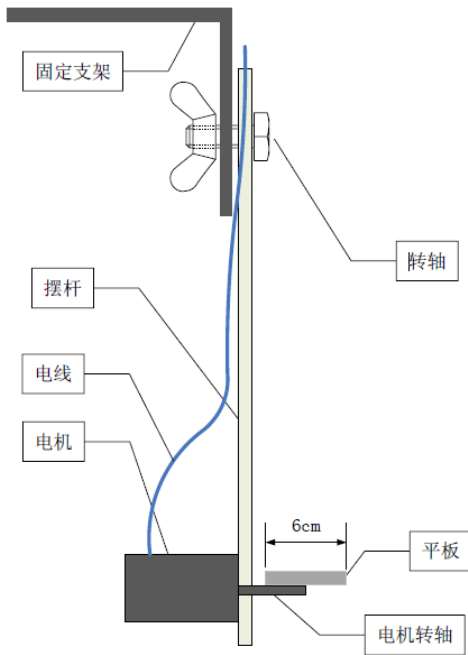


图 10-1 平板控制系统

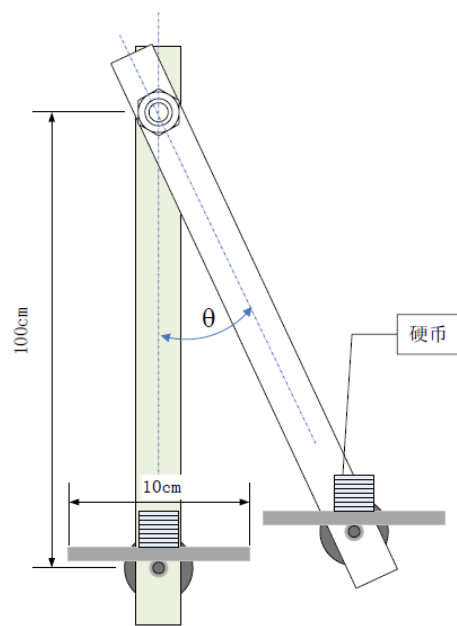


图 10-2 摆杆示意图

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配套件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	
2	工具箱	1	20	
3	元器件套件	若干		根据需求购买

(四) 实训要求

1、基本要求

(1) 控制电机使平板可以随着摆杆的摆动而旋转(3~5周), 摆杆摆一个周期, 平板旋转一周(360°), 偏差绝对值不大于45°。

(2) 在平板上粘贴一张画有一组间距为1cm平行线的打印纸。用手推动摆杆至一个角度 θ (θ 在30°~45°), 调整平板角度, 在平板中心稳定放置一枚1元硬币(人民币); 启动后放开摆杆让其自由摆动。在摆杆摆动过程中, 要求控制平板状态, 使硬币在5个摆动周期中不从平板上滑落, 并尽量少滑离平板的中

心位置。

(3) 用手推动摆杆至一个角度 θ (θ 在 $45^\circ \sim 60^\circ$ 间)，调整平板角度，在平板中心稳定叠放8枚1元硬币，见图2；启动后放开摆杆让其自由摆动。在摆杆摆动过程中，要求控制平板状态使硬币在摆杆的5个摆动周期中不从平板上滑落，并保持叠放状态。根据平板上非保持叠放状态及滑落的硬币数计算成绩。

2、发挥部分

(1) 如图10-3 所示，在平板上固定一激光笔，光斑照射在距摆杆150cm 距离处垂直放置的靶子上。摆杆垂直静止且平板处于水平时，调节靶子高度，使光斑照射在靶纸的某一条线上，标识此线为中心线。用手推动摆杆至一个角度 θ (θ 在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 间)，启动后，系统应在15秒钟内控制平板尽量使激光笔照射在中心线上（偏差绝对值 $< 1\text{cm}$ ），完成时以LED 指示。根据光斑偏离中心线的距离计算成绩，超时则视为失败。

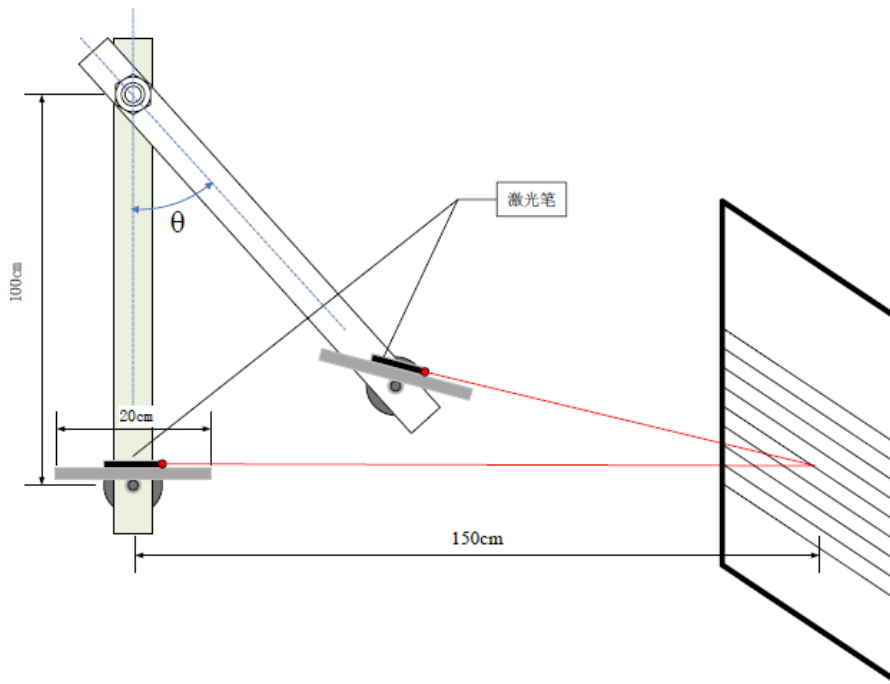


图10-3 激光笔定位示意图

(2) 在上述过程完成后，调整平板，使激光笔照射到中心线上（可人工协助）。启动后放开让摆杆自由摆动；摆动过程中尽量使激光笔光斑始终瞄准照射在靶纸的中心线上，根据光斑偏离中心线的距离计算成绩。

(3) 其他。

(五) 实训说明

1、摆杆可以采用木质、金属、塑料等硬质材料；摆杆长度（固定转轴至电机轴的距离）为 $100\text{ cm}\pm 5\text{ cm}$ ；摆杆通过转轴固定在支架或横梁上，并能够灵活摆动；将摆杆推起至 $\theta=30^\circ$ 处释放后,摆杆至少可以自由摆动7个周期以上。摆杆不得受重力以外的任何外力控制。

2、平板的状态只能受电机控制。平板的长宽尺寸为 $10\text{ cm}\times 6\text{ cm}$ ，可以采用较轻的硬质材料；不得有磁性；表面必须为光滑的硬质平面；不得有凸起的边沿；倾斜一定角度时硬币须能滑落。平板承载重量不小于 100 g 。

3、摆动周期的定义：摆杆被释放至下一次摆动到同侧最高点。

4、摆杆与平板部分电路可以用软质导线连接，但必须不影响摆杆的自由摆动。

5、在完成基本要求部分工作时，需在平板上铺设一张如图10-4所示画有一组间距为 1 cm 平行线的打印纸（ $10\text{ cm}\times 6\text{ cm}$ ），平行线与电机转轴平行。

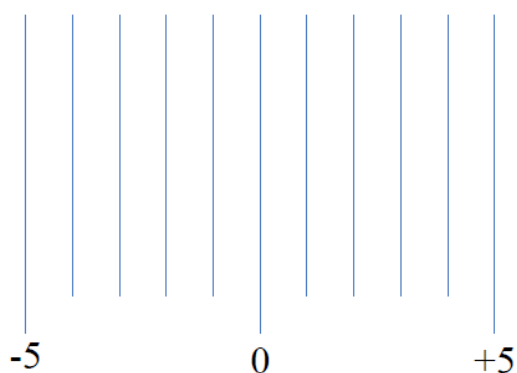


图10-4 激光扫描示意图

6、非保持叠放状态硬币数为接触平板硬币数减1。接触平板硬币数的定义参见图10-5。

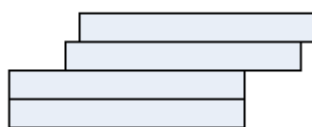


图 10-5 接触平板硬币数为 1

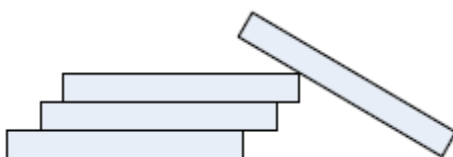


图 10-6 接触平板硬币数为 2



图10-7 中接触平板硬币数为3

7、在完成发挥部分工作时，需要在平板上固定安装一激光笔。激光笔的照射方向垂直于电机转轴。激光笔的光斑直径不大于 5mm。需在距摆杆 150cm 处设置一高度可以调整的目标靶子，靶子上粘贴靶纸（A4 打印纸），靶纸上画一组间距为 1cm 的水平平行线。测试现场提供靶子，也可自带。

8、题目要求的各项工作中，凡涉及推动摆杆至某一位置并准备开始摆动时，允许手动操作启动工作，亦可自动启动工作。一旦摆杆开始自由摆动，不得再人为干预系统运行。

9、设计报告正文中应包括系统总体框图、核心电路原理图、主要流程图、主要测试结果。完整的电路原理图、重要的源程序和完整的测试结果用附件给出。

(六) 评分标准

项目			
设计报告	报告要点	主要内容	满分
	系统方案	方案比较与选择、系统结构	4
	理论分析与计算	平板状态测量方法，建模与控制方法	10
	电路与程序设计	电路设计，程序结构与设计	7
	测试方案与测试结果	测试方案 测试结果及分析	5
	设计报告结构及规范性	摘要 设计报告正文的结构及图表规范性	4
	总分		
基本要求	实际制作情况		50
发挥部分	完成第（1）项		4
	完成第（2）项		10
	其他		6
	总分		20

实训项目 11：智能小车系统的设计与开发 （4 周）

（一）实训目的

掌握自动控制系统的建模、分析方法，以及基于单片机的自动控制系统的硬件系统及软件系统设计。

（二）实训内容

甲车车头紧靠起点标志线,乙车车尾紧靠边界,甲、乙两辆小车同时起动,先后通过起点标志线,在行车道同向而行,实现两车交替超车领跑功能。跑道如图 11 所示。

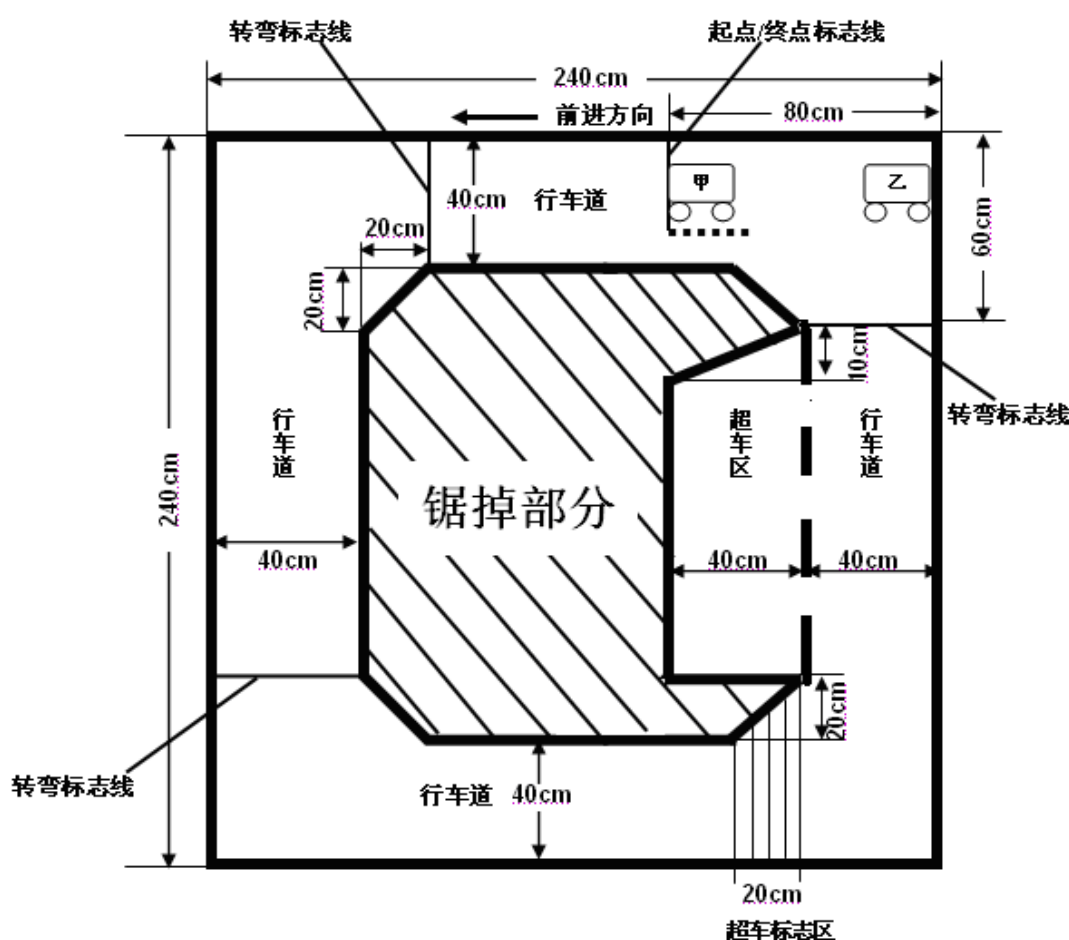


图11 跑道示意图

（三）应配备的主要设备名称和台数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	Matlab 软件 cSPACE 软件
2	工具箱	1	20	
3	元器件套件	若干		根据需求购买

(四) 实训要求

1、基本要求

- (1) 甲车和乙车分别从起点标志线开始，在行车道各正常行驶一圈。
- (2) 甲、乙两车按图1 所示位置同时起动，乙车通过超车标志线后在超车区内实现超车功能，并先于甲车到达终点标志线，即第一圈实现乙车超过甲车。
- (3) 甲、乙两车在完成(2)时的行驶时间要尽可能的短。

2、发挥部分

(1) 在完成基本要求(2)后,甲、乙两车继续行驶第二圈，要求甲车通过超车标志线后要实现超车功能，并先于乙车到达终点标志线，即第二圈完成甲车超过乙车，实现了交替领跑。甲、乙两车在第二圈行驶的时间要尽可能的短。

(2) 甲、乙两车继续行驶第三圈和第四圈，并交替领跑；两车行驶的时间要尽可能的短。

(3) 在完成上述功能后，重新设定甲车起始位置（在离起点标志线前进方向40 cm 范围内任意设定），实现甲、乙两车四圈交替领跑功能，行驶时间要尽可能的短。

(五) 实训说明

1、赛车场地由2块细木工板（长244 cm，宽122 cm，厚度自选）拼接而成，离地面高度不小于6 cm（可将垫高物放在木工板下面，但不得外露）。板上边界线由约2 cm 宽的黑胶带构成；虚线由2 cm 宽、长度为10 cm、间隔为10 cm 的黑胶带构成；起点/终点标志线、转弯标志线和超车标志区线段由1cm 宽黑胶带构成。图1中斜线所画部分应锯掉。

2、车体（含附加物）的长度、宽度均不超过40cm，高度不限，采用电池供电，不能外接电源。

3、测试中甲、乙两车均应正常行驶，行车道与超车区的宽度只允许一辆车行驶，车辆只能在超车区进行超车（车辆先从行车道到达超车区，实现超车后必须返回行车道）。甲乙两车应有明显标记，便于区分。

- 4、甲乙两车不得发生任何碰撞，不能出边界掉到地面。
- 5、不得使用小车以外的任何设备对车辆进行控制，不能增设其它路标或标记。
- 6、测试过程中不得更换电池。
- 7、评测时不得借用其他队的小车。

(六) 评分标准

项目			
	项目	主要内容	满分
设计报告	系统方案	总体方案设计与比较	3
	理论分析与计算	信号检测与控制 两车之间的通信方法节能	8
	电路与程序设计	电路设计 程序结构与设计	10
	测试方案与测试结果	测试方案及测试条件 测试结果完整性	5

	设计报告结构及规范性	摘要 设计报告正文的结构及图 表规范性	4
	总分		30
基本要求	实际制作情况		50
发挥部分	完成第(1)项		3
	完成第(2)项		5
	完成第(3)项		8
	其他		4
	总分		20

实训项目 12: 光伏并网发电模拟装置的设计与开发 (4 周)

(一) 实训目的

掌握电压桥式逆变及光伏并网原理,掌握基于单片机的光伏并网发电模拟装置的硬件系统及软件系统设计。

(二) 实训内容

设计并制作一个光伏并网发电模拟装置,其结构框图如图 1 所示。用直流稳压电源 U_s 和电阻 R_s 模拟光伏电池, $U_s = 60V$, $R_s = 30\Omega \sim 36\Omega$; U_{REF} 为模拟电网电压的正弦参考信号,其峰峰值为 $2V$,频率 f_{REF} 为 $45Hz \sim 55Hz$; T 为工频隔离变压器,变比为 $n_2:n_1 = 2:1$ 、 $n_3:n_1 = 1:10$,将 U_F 作为输出电流的反馈信号;负载电阻 $R_L = 30\Omega \sim 36\Omega$ 。

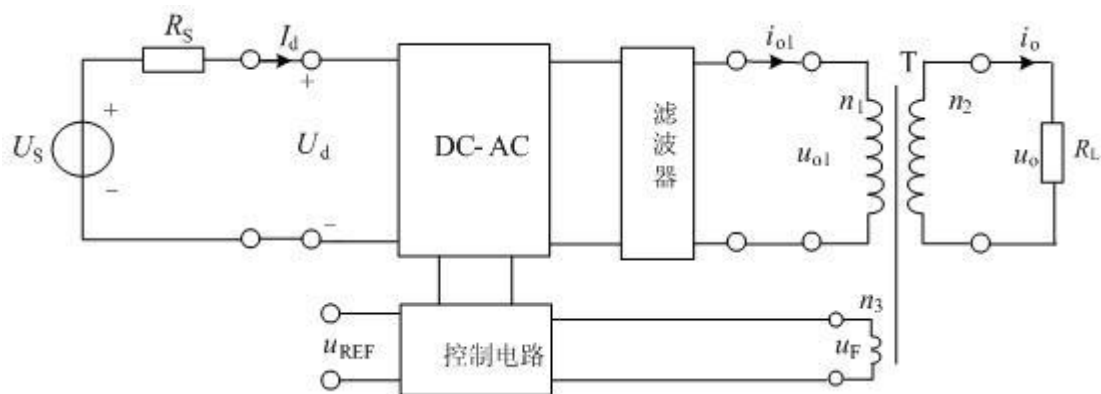


图 12 并网发电模拟装置框图

(三) 应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配台件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	
2	工具箱	1	20	
3	元器件套件	若干		根据需求购买

(四) 实训要求

1、基本要求

(1)具有最大功率点跟踪(MPPT)功能: R_s 和 R_L 在给定范围内变化时,使 $U_d = \frac{1}{2}U_s$, 相对偏差的绝对值不大于 1%。

(2)具有频率跟踪功能: 当 f_{REF} 在给定范围内变化时,使 U_F 的频率 $f_F = f_{REF}$, 相对偏差绝对值不大于 1%。

(3)当 $R_s = R_L = 30\Omega$ 时, $DC-AC$ 变换器的效率 $\eta \geq 60\%$ 。

(4)当 $R_s = R_L = 30\Omega$ 时, 输出电压 U_o 的失真度 $THD \leq 5\%$ 。

(5)具有输入欠压保护功能, 动作电压 $U_{d(th)} = (25 \pm 0.5)V$ 。

(6)具有输出过流保护功能, 动作电流 $I_{o(th)} = (1.5 \pm 0.2)A$ 。

2、发挥部分

(1)提高 $DC-AC$ 变换器的效率, 使 $\eta \geq 80\%$ ($R_s = R_L = 30\Omega$ 时)。

(2)降低输出电压失真度, 使 $THD \leq 1\%$ ($R_s = R_L = 30\Omega$ 时)。

(3)实现相位跟踪功能: 当 f_{REF} 在给定范围内变化以及加非阻性负载时, 均能保证 u_F 与 u_{REF} 同相, 相位偏差的绝对值 $\leq 5^\circ$ 。

(4)过流、欠压故障排除后, 装置能自动恢复为正常状态。

(5)其他。

(五) 实训说明

1、本实训中所有交流量除特别说明外均为有效值。

2、 U_s 采用实验室可调直流稳压电源, 不需自制。

3、控制电路允许另加辅助电源, 但应尽量减少路数和损耗。

4、DC-AC 变换器效率 $\eta = \frac{P_o}{P_d}$, 其中 $P_o = U_{o1} \cdot I_{o1}$, $P_d = U_d \cdot I_d$ 。

5、基本要求 (1)、(2) 和发挥部分 (3) 要求从给定或条件发生变化到电路达到稳态的时间不大于 1s。

6、装置应能连续安全工作足够长时间, 测试期间不能出现过热等故障。

7、制作时应合理设置测试点 (参考图 1), 以方便测试。

8、设计报告正文中应包括系统总体框图、核心电路原理图、主要流程图、主要的测试结果。完整的电路原理图、重要的源程序和完整的测试结果用附件给出。

(六) 评分标准

	项目	主要内容	满分
设计 报告	方案论证	比较与选择; 方案描述	4
	理论分析与计算	MPPT 的控制方法与参数计算; 同频、同相的控制方法与参数计算; 提高效率的方法; 滤波参数计算	9
	电路与程序设计	DC-AC 主回路与器件选择; 控制电路或控制程序; 保护电路	9

	测试方案与测试结果	测试方案及测试条件；测试结果及其完整性；测试结果分析	5
	实验报告结构及规范性	摘要；设计报告正文的结构；图标的规范性	3
	总分		30
基本要求	实际制作完成情况		50
发挥部分	完成第（1）项		2
	完成第（2）项		3
	完成第（3）项		8
	完成第（4）项		2
	其他		3
	总分		20

实训项目 13：开关稳压电源设计与制作 （4周）

（一）实训目的

掌握开关稳压电源的原理及设计。

（二）实训内容

设计并制作如图 13 所示的开关稳压电源。

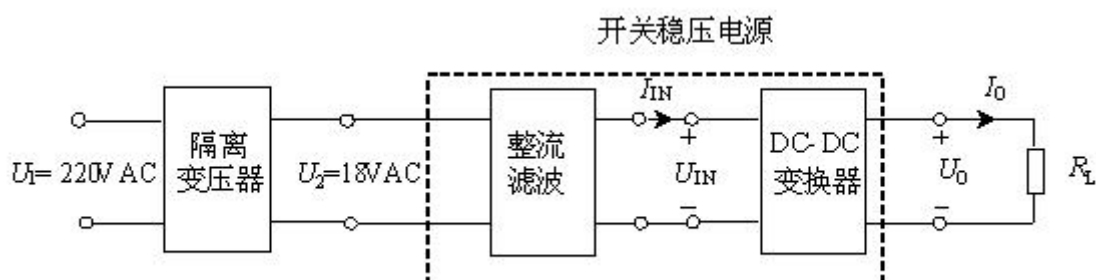


图 13 开关稳压电源框图

（三）应配备的主要设备名称和台件数

序号	设备名称	每组应配合件数	现有台数	备注
1	微型计算机	1	40	
2	工具箱	1	20	
3	元器件套件	若干		根据需求购买

（四）实训要求

在电阻负载条件下，使电源满足下述要求：

1、基本要求

- （1）输出电压 U_o 可调范围：30V ~ 36V；
- （2）最大输出电流 I_{Omax} ：2A；
- （3） U_2 从 15V 变到 21V 时，电压调整率 $S_v \leq 2\%$ ($I_o = 2A$)；

- (4) I_o 从 0 变到 2A 时, 负载调整率 $S_I \leq 5\%$ ($U_2 = 18V$);
- (5) 输出噪声纹波电压峰-峰值 $U_{OPP} \leq 1V$ ($U_2 = 18V, U_o = 36V, I_o = 2A$);
- (6) DC-DC 变换器的效率 $\eta \geq 70\%$ ($U_2 = 18V, U_o = 36V, I_o = 2A$);
- (7) 具有过流保护功能, 动作电流 $I_{O(th)} = 2 \pm 0.2A$ 。

2、发挥部分

- (1) 进一步提高电压调整率, 使 $S_V \leq 0.2\%$ ($I_o = 2A$);
- (2) 进一步提高负载调整率, 使 $S_I \leq 0.5\%$ ($U_2 = 18V$);
- (3) 进一步提高效率, 使 $\eta \geq 85\%$ ($U_2 = 18V, U_o = 36V, I_o = 2A$);
- (4) 排除过流故障后, 电源能自动恢复为正常状态;
- (5) 能对输出电压进行键盘设定和步进调整, 步进值 1V, 同时具有输出电压、电流的测量和数字显示功能。
- (6) 其他。

(五) 实训说明

(1) DC-DC 变换器不允许使用成品模块, 但可使用开关电源控制芯片。

(2) U_2 可通过交流调压器改变 U_1 来调整。DC-DC 变换器 (含控制电路) 只能由 U_{IN} 端口供电, 不得另加辅助电源。

(3) 本题中的输出噪声纹波电压是指输出电压中的所有非直流成分, 要求用带宽不小于 20MHz 模拟示波器 (AC 耦合、扫描速度 20ms/div) 测量 U_{OPP} 。

(4) 本题中电压调整率 S_V 指 U_2 在指定范围内变化时, 输出电压 U_o 的变化率; 负载调整率 S_I 指 I_o 在指定范围内变化时, 输出电压 U_o 的变化率; DC-DC 变换器效率 $\eta = P_o / P_{IN}$, 其中 $P_o = U_o I_o$, $P_{IN} = U_{IN} I_{IN}$ 。

(5) 电源在最大输出功率下应能连续安全工作足够长的时间 (测试期间, 不能出现过热等故障)。

(6) 制作时应考虑方便测试, 合理设置测试点 (参考图 1)。

(7) 设计报告正文中应包括系统总体框图、核心电路原理图、主要流程图、主要的测试结果。完整的电路原理图、重要的源程序和完整的测试结果用附件给出。

(六)、评分标准

	项目	应包括的主要内容或考核要点	满分
设计	方案论证	DC-DC 主回路拓扑; 控制方法及实现方案; 提高效率的方法及实现方案	5

报告	电路设计与参数计算	主回路器件的选择及参数计算;控制电路设计与参数计算;效率的分析及计算;保护电路设计与参数计算;数字设定及显示电路的设计	10
	测试方法与数据	测试方法;测试仪器;测试数据(着重考查方法和仪器选择的正确性以及数据是否全面、准确)	5
	测试结果分析	与设计指标进行比较,分析产生偏差的原因,并提出改进方法	5
	电路图及设计文件	重点考查完整性、规范性	5
	总分		30
基本要求	实际制作完成情况		50
发挥部分	完成第(1)项		2
	完成第(2)项		3
	完成第(3)项		5
	完成第(4)项		2
	完成第(5)项		3
	其他		5
	总分		20

实训项目 14: 全国大学生电子设计竞赛 (4周)

依据当年度全国大学生电子设计竞赛文件,任选一题参加全国大学生电子竞赛。

实训项目 15: 全国大学生飞思卡尔杯智能汽车竞赛 (4周)

依据当年度全国大学生飞思卡尔杯智能汽车竞赛文件,任选光电组、摄像头组或电磁组参加全国大学生飞思卡尔杯智能汽车竞赛。

实训项目 16: 中国机器人大赛暨 RoboCup 公开赛 (4周)

依据当年度中国机器人大赛暨 RoboCup 公开赛文件,任选一题参加中国机器人大赛暨 RoboCup 公开赛。

实训项目 17: 博创杯全国大学生嵌入式物联网设计大赛 (4周)

依据当年度博创杯全国大学生嵌入式物联网设计大赛文件,任选一题参加博创杯全国大学生嵌入式物联网设计大赛。

实训项目 18: 陕西省大学生德州仪器(TI)杯竞赛 (4周)

依据当年度陕西省大学生德州仪器(TI)杯竞赛文件,任选一题参加陕西省大学生德州仪器(TI)杯竞赛。

九、实验报告的格式

实验完毕，应用专门的实验报告纸，根据实验中的现象及数据记录等，认真及时的写出实验报告。实验报告一般包括以下内容：

- 1、实验名称；
- 2、实验目的；
- 3、设计报告：应详细给出方案论证、理论分析与计算、电路与程序设计、测试方案，根据实验要求及计算公式计算出分析结果并进行有关数据和误差处理，尽可能地使测试结果表格化。
- 4、主要设备和仪器：列出实验中所要使用的主要仪器设备。
- 5、基本要求完成情况：简明扼要的将基本要求部分的结果表示出来，并尽可能地使测试结果表格化。
- 6、发挥部分完成情况：简明扼要的将发挥部分的结果表示出来，并尽可能地使测试结果表格化。
- 7、问题讨论：对实验中的现象、产生的误差等进行分析和讨论，结合所学的有关理论，提高自己分析问题和解决问题的能力。
- 8、实验成果汇报：实验成果汇报指通过制作 PPT 汇报综合性/设计性的全过程和成果完成情况，汇报时长限制在 30 分钟。

十、本课程考核方式、方法及实验成绩评定方法

本课程采用综合考核方式，包括实验过程成绩、实验成果成绩和汇报讨论成绩三部分组成。实验过程成绩依据课堂纪律和态度，占 10%。实验成果成绩涵盖了设计报告、基本要求和发挥部分的完成率、实验数据及其处理和最终实验报告等作为成绩评定的依据，占总成绩的 70%，具体评分标准参加各实训项目的评分标准。汇报讨论占总成绩的 20%。

编写人：李宁 雷旭 周林英 闫茂德 审核人： 实验室主任： 主管院长：