

# 《自动控制原理》课程实验教学大纲

## 一、实验课名称

中文：自动控制原理

英文：Automatic Control Principle

## 二、实验课性质：非独立设课

## 三、适用专业：自动化专业

## 四、采用教材

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

## 五、学时学分

课程总学时: 90; 课程总学分: 5; 实验课总学时: 18

## 六、实验项目名称和学时分配

序号	实验项目名称	学时分配	实验属性	实验类型	实验者类别	每组人数	必开/选开
1	典型环节的模拟研究	2	专业类	验证型	本科生	2	必开
2	典型系统瞬态响应和稳定性	2	专业类	验证型	本科生	2	必开
3	用 Matlab 验证系统频率特性	2	专业类	验证型	本科生	2	选开
4	控制系统的频率特性	2	专业类	验证型	本科生	2	必开
5	频域法串联超前校正	2	专业类	设计型	本科生	2	必开
6	时域法串联比例微分校正	2	专业类	综合型	本科生	2	选开
7	用 Matlab 分析设计控制系统	2	专业类	验证型	本科生	2	选开
8	典型非线性环节	2	专业类	验证型	本科生	2	必开
9	非线性系统（一）	2	专业类	验证型	本科生	2	选开
10	非线性系统（二）	2	专业类	验证型	本科生	2	必开
11	采样控制系统分析	2	专业类	综合型	本科生	2	选开
12	直流电机闭环调速实验	2	综合类	综合型	本科生	2	选开
13	模拟直流电机速度闭环控制随动系统实验	2	综合类	综合型	本科生	2	选开
14	数字 PID 控制实验	2	综合类	验证型	本科生	2	必开
15	直线电机倒立摆 PID 控制实验	2	综合类	综合型	本科生	2	选开

## 七、实验教学的目的和要求

自动控制原理实验是与自动控制原理教学紧密结合的重要实践环节,通过实验培养学生理论联系实际的能力,使学生能巩固和加深对自动控制课程的理解,掌握基本的控制力和控制算法以及系统的组成等知识,更好地提高对控制系统分析和综合的能力,实验的目的是为了培养学生分析和解决实际问题的能力以及系统合作的实践能力,充分提高学生的综合素质。

综上所述,本实验课程的教学目标是使学生能够掌握自动化工程师应具备的基本知识和应用技能,学习器件与部件的选型知识、学会自动控制系统设计和简易控制系统的集成,学会举一反三,初步具有设计和调试自动控制系统的能力。

## 八、单项实验的内容和要求

### 实验项目 1: 典型环节的模拟研究

(2 学时)

#### 1. 实验内容:

- (1) 掌握比例、积分、比例积分、比例微分和惯性环节的电路原理和实验步骤;
- (2) 观察比例、积分、比例积分、比例微分和惯性环节的阶跃响应曲线。

#### 2. 实验要求:

- (1) 了解和掌握个典型环节的传递函数及模拟电路图,观察分析并验证个典型环节的响应曲线。
- (2) 掌握环节参数的变化对阶跃响应的影响。

#### 3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

#### 4. 对学生的要求

- (1) 认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 1: 典型环节的模拟研究的内容。
- (2) 在此基础上做好实验预习报告(后续实训项目不再单独列出)。

#### 5. 对指导教师的要求

- (1) 认真检查学生预习报告(后续实验项目不再单独列出)。
- (2) 用 10 分钟时间,示范性向学生示范实验步骤和方法。
- (3) 实验过程中,注意观察学生实验的进度和情况,及时和学生交流,解决学生存在的问题(后续实训项目不再单独列出)。

### 实验项目 2: 典型系统瞬态响应和稳定性

(2 学时)

#### 1. 实验内容:

- (1) 典型二阶系统在欠阻尼、临界阻尼、过阻尼三种情况下的瞬态阶跃响应指标的测试;
- (2) 典型三阶系统在不稳定、临界稳定、稳定的瞬态阶跃响应曲线的观察和分析。

#### 2. 实验要求:

- (1) 了解和掌握典型二阶和三节系统的传递函数和模拟电路图;
- (2) 观察并验证典型二阶系统在欠阻尼、临界阻尼、过阻尼的响应曲线及典型三阶系统在不稳定、临界稳定、稳定的响应曲线。

#### 3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

#### 4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 2：典型系统瞬态响应和稳定性的内容。

#### 5. 对指导教师的要求

- (1) 用 10 分钟时间，示范性向学生示范实验步骤和方法。
- (2) 指导学生进行线路的连接。

### 实验项目 3：用 Matlab 验证系统频率特性

(2 学时)

#### 1. 实验内容：

用 Matlab 语言来仿真控制系统的开、闭环阶跃响应的频率特性，并画出相应的伯德图。

#### 2. 实验要求：

了解 Matlab 在控制系统仿真的应用，掌握 Matlab 的基本使用方法，学会应用 Matlab 来分析验证控制系统的开、闭环频率特性。

#### 3. 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	安装 Matlab 软件

#### 4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 3：用 Matlab 验证系统频率特性的内容。

#### 5. 对指导教师的要求

- (1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。
- (2) 指导学生使用 Matlab。

### 实验项目 4：控制系统的频率特性

(2 学时)

#### 1. 实验内容：

(1) 用频率特性测试仪内信号发生器产生一个从低频到高频变化的正弦信号，将该信号作为系统的输入，测量系统反馈信号和误差信号的对数幅值和相位；根据系统输出特性绘制一节惯性环节、二阶闭环系统和开环系统的幅-频曲线和相-频曲线。

(2) 掌握二阶系统的动态性能指标。

#### 2. 实验要求：

了解和掌握控制系统的频率特性，学会测量开环对数幅-频曲线和相-频曲线。

#### 3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	

2	微型计算机	1	40	
---	-------	---	----	--

#### 4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 4：控制系统的频率特性的内容。

#### 5. 对指导教师的要求

- (1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。
- (2) 指导学生进行线路连接，分析不同环节频率特性特点。

### 实验项目 5: 频域法串联超前校正

(2 学时)

#### 1. 实验内容:

- (1) 为校正系统的时域、频域特性测试。
- (2) 设计超前校正环节并确定电阻、电容值。
- (3) 校正后系统的时域、频域特性测试。

#### 2. 实验要求:

(1) 了解和掌握超前校正的理论和原理，分析和设计校正环节传递函数，并能根据所设计传递函数搭建相应的电路系统，并比较分析校正系统和非校正系统的响应曲线；

(2) 掌握在被控系统中如何串入超前校正网络，搭建一个性能满足指标要求的新系统的方法。

#### 3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

#### 4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 5：频域法串联超前校正的内容。

#### 5. 对指导教师的要求

- (1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍测试的步骤和方法。
- (2) 指导学生对校正系统进行测试，分析校正的方法。

### 实验项目 6: 时域法串联比例微分校正

(2 学时)

#### 1. 实验内容:

- (1) 未校正系统的时域特性测试。
- (2) 比例微分校正环节的设计。
- (3) 串接入比例微分校正后系统的时域特性的测试。

#### 2. 实验要求:

(1) 了解和掌握串联比例微分校正实验原理，分析和设计校正环节传递函数，并能根据所设计传递函数搭建相应的电路系统，利用 I 型二阶系统的闭环传递函数标准式完成串联

比例微分校正网络参数的计算。

(2) 掌握在被控系统中如何串入比例微分校正网络，构建一个性能满足性能指标要求的新系统的方法。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 6：时域法串联比例微分校正的内容。

5. 对指导教师的要求

(1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。

(2) 指导学生比较与前面校正方法的差别。

**实验项目 7: 用 Matlab 分析设计控制系统**

(2 学时)

1. 实验内容:

分析一个客观系统，用控制理论的方法来建立数学模型，并用 Matlab 语言来分析该系统的相关特性。

2. 实验要求:

要求将本课程中控制系统的开、闭环结构的动、静态响应理论和《控制系统仿真》课程中的 Matlab 语言仿真分析方法结合起来，分析控制系统的时、频域特性。

3. 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	安装 Matlab 软件

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 7：用 Matlab 分析设计控制系统的内容。

5. 对指导教师的要求

指导学生用 Matlab 分析设计控制系统。

**实验项目 8: 典型非线性环节**

(2 学时)

1. 实验内容:

掌握以运算放大器为基本元件组成各种典型非线性模拟电路的方法，分别组成模拟非线性电路继电器特性、饱和特性、死区特性、间隙特性的电路，并分析各电路的输入输出特性。

2. 实验要求:

了解和掌握典型非线性环节的原理、观察、分析并验证典型非线性环节的输出特性。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 8：典型非线性环节的内容。

5. 对指导教师的要求

(1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。

(2) 指导学生正确连线，分析各环节特点。

**实验项目 9：非线性系统（一）**

(2 学时)

1. 实验内容：

用相轨迹分析继电型非线性系统在阶跃信号下的瞬态响应和稳态响应，用相轨迹分析带速度负反馈继电型非线性系统在阶跃信号下的瞬态响应和稳态响应，用相轨迹分析饱和和非线性系统在阶跃信号下的瞬态响应和稳态响应。

2. 实验要求：

了解和掌握非线性系统的原理，验证并掌握用相轨迹分析非线性系统的瞬态响应和稳态响应。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 9：非线性系统（一）的内容。

5. 对指导教师的要求

用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。

**实验项目 10：非线性系统（二）**

(2 学时)

1. 实验内容：

(1) 用相平面法分析继电型非线性三阶系统。

(2) 用相平面法分析饱和型非线性三阶系统。

2. 实验要求：

了解和掌握相平面法，掌握用相平面法分析验证非线性三阶系统的方法。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 10：非线性系统（二）的内容。

5. 对指导教师的要求

用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。

**实验项目 11：采样控制系统分析**

(2 学时)

1. 实验内容：

- (1) 用相平面法分析继电型非线性三阶系统。
- (2) 用相平面法分析饱和型非线性三阶系统。

2. 实验要求：

了解和掌握相平面法，掌握用相平面法分析验证非线性三阶系统的方法。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 11：采样控制系统分析的内容。

5. 对指导教师的要求

- (1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。
- (2) 指导学生分析两个特性的差别。

**实验项目 12：直流电机闭环调速实验**

(2 学时)

1. 实验内容：

搭建直流电机闭环调速系统，编写数字 PID 算法，实现直流电机闭环调速，使速度稳定在某一给定值上，并分析系统的控制效果。

2. 实验要求：

- (1) 巩固闭环控制系统的基本概念。
- (2) 了解闭环控制系统中反馈量的引入方法。
- (3) 掌握 PID 算法数字化的方法和编程；编写实现直流电机闭环调速的程序。
- (4) 分析系统的控制效果。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	

2	微型计算机	1	40	
---	-------	---	----	--

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 12：直流电机闭环调速实验的内容。

5. 对指导教师的要求

- (1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。
- (2) 指导学生进行线路连接，防止接错线。

**实验项目 13: 模拟直流电机速度闭环控制随动系统实验** (2 学时)

1. 实验内容:

搭建直流电机闭环调速系统，编写数字 PID 算法，实现直流电机闭环调速，使速度稳定在某一给定值上，并分析系统的控制效果。

2. 实验要求:

- (1) 巩固闭环控制系统的基本概念，了解闭环控制系统中反馈量的引入方法。
- (2) 掌握 PID 算法数字化的方法和编程。
- (3) 编写实现直流电机闭环调速的程序。
- (4) 分析系统的控制效果。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 13：模拟直流电机速度闭环控制随动系统实验的内容。

5. 对指导教师的要求

- (1) 用 10 分钟时间，示范性向学生介绍实验步骤和方法。
- (2) 指导学生进行线路连接，防止接错线。

**实验项目 14: 数字 PID 控制实验** (2 学时)

1. 实验内容:

搭建一个能实现数字 PID 控制的数字系统，微机对含有干扰的正弦信号采样输入，然后进行数字滤波处理，以保留正弦信号，去除干扰，最后转换成模拟量输出。

2. 实验要求:

掌握数字 PID 控制的原理，学会编制数字 PID 控制程序，掌握调整控制参数、分析控制效果的方法。

3. 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	AEDK-LabACT-3A 自控原理试验箱	1	40	
2	微型计算机	1	40	

#### 4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 14: 数字 PID 控制实验的内容。

#### 5. 对指导教师的要求

用 10 分钟时间, 示范性向学生介绍实验步骤和方法。

### 实验项目 15: 直线电机倒立摆 PID 控制实验

#### 1. 实验内容:

(1) 认识倒立摆系统的各组成部分, 包括执行元件 (直线电机)、倒立摆机构、反馈元件 (直线光栅、角度编码器)、控制系统 (控制卡)、cSPACE 软件, 使学生理解倒立摆, 并且定性分析倒立摆的控制原理。

(2) 了解和掌握直线电机驱动一级倒立摆常规 PID 控制实验。

(3) 使用倒立摆串级 PID 控制, 使平台基本稳定在一个位置。

#### 2. 实验要求:

(1) 要求学生能够正确理解直线电机驱动倒立摆的工作机理和工作过程, 了解直线电机倒立摆结构, 区别与传统倒立摆的不同点。

(2) 学习 PID 控制原理和倒立摆数学建模, 以及利用 cSPACE 设计 PID 控制器, 观察和发现存在的问题。

#### 3. 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	微纳科技直线电机平台与倒立摆	1	15	
2	微型计算机	1	15	Matlab 软件 cSPACE 软件

#### 4. 对学生的要求

认真阅读《自动控制原理实验指导书》实验 13: 直线电机倒立摆 PID 控制实验的内容。

#### 5. 对指导教师的要求

(1) 用 20 分钟时间, 示范性向学生介绍实验步骤和方法。

(2) 指导学生进行线路连接, 防止接错线。

### 九、课外项目拓展:

本课程为激发学生对专业的学习兴趣, 采用理论教学、实验教学、边讲边练和自学相结合的教学方式组织课程教学, 引导学生快乐学习。具体来讲, 理论教学内容主要分为七个部分: 线性系统的数学模型、线性系统的时域分析、线性系统的根轨迹分析、线性系统的频域分析、线性系统的校正、非线性系统的分析、采样控制系统。每一部分的教学都由 3~4 次理论课和 2~3 个实验组成, 主要使学生了解自控的组成和基本控制原理; 形成自动控制的思想, 为后续课程 (现代控制理论、计算机控制系统和运动控制系统等) 的学习提供所应有的系统分析、设计的基本理论和基本方法, 掌握必要的基本技能, 为进一步深造打下

必要的理论基础。同时，针对每一章节都设计了一两个项目，这些项目是在对应知识的深化与具体化。引导学生自主学习主动探索，进一步深化学习内容，培养学生沟通交流表达能力和团队合作精神。

以采样控制系统为例，其教学目标围绕“简易自动控制原理实验系统设计”理论教学和实验展开。实验教学环节、内容和目标如下图所示，从图中可以看出，理论教学内容非常丰富，但授课学时少，因此必须和其它教学环节相互配合，引导学生课外主动自学。

开始讲授理论课前，老师就使学生明确本阶段的教学目标和教学形式：第 2 章的教学内容，介绍将物理模型采用数学描述的方法；第 3 章重点讨论二阶系统在单位阶跃信号作用下的时域响应及其响应指标；第 4 章介绍闭环系统特征根在 S 平面上的运动轨迹，介绍利用根轨迹分析系统动静态性能的基本方法；第 5 章重点介绍线性定常系统在正弦信号作用下的稳态输出；第 6 章介绍介绍从自动控制系统设计的角度，给出校正的概念，校正装置及校正方法，重点介绍基于伯德图的串联校正方法；第 7 章重点介绍典型非线性特性及描述函数法；第 8 章重点介绍 Z 变换及离散控制系统的数学模型。

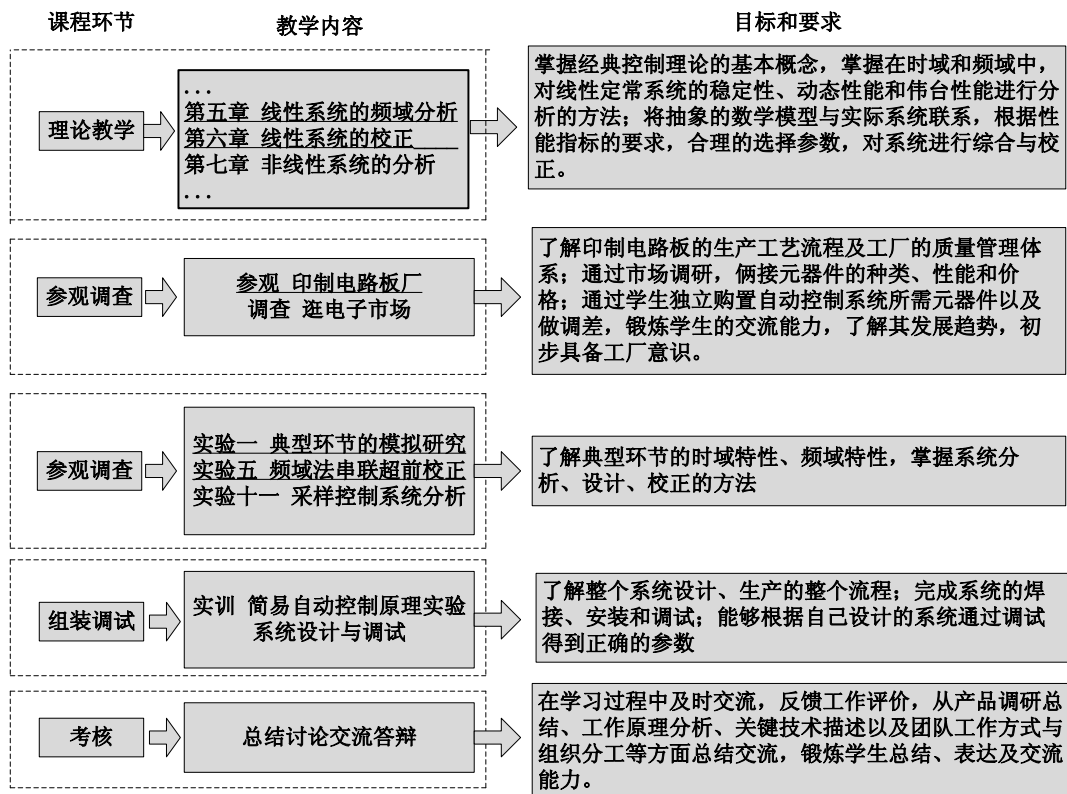


图 5 简易自动控制原理实验系统设计教学实例

在理论课教学的基础上，每个章节都有相应的实验项目，使学生学习并掌握自动控制系统的仿真实验方法和硬件实验方法，通过实验巩固和加深对理论知识的理解，获得分析、验证系统性能的技巧。通过对前面理论和实验知识的积累，学生根据自动控制原理系统设计思想，熟悉要使用的元器件，制定要选购的元器件清单，到电子市场自行采购，了解市场元器件包括电源、基于单片机 AT89S52 的信号发生模块、基本实验模块的价格，根据实训项目的要求，完成简易自动控制原理试验系统的设计与制作与调试，最后根据测试结果，给出简

易自动控制原理实验系统设计的各种参数。通过系统的制作，让学生了解控制系统各个部分的相互联系、相互影响。

通过项目的拓展，实现同学们的个性化培养，培养学生在某一方面的学习兴趣和特长。

#### **十、实验课考核方式：**

- (1) 实验报告：书面写出实验报告。占课程总成绩的比例为 30%。
- (2) 课外项目总结报告及答辩交流 PPT。占课程总成绩的比例为 20%。
- (3) 实验室面试：占课程总成绩的比例为 20%。
- (4) 实验课成绩占课程总成绩的比例为 70%。

**编写人：闫茂德**

**审核人：李艳波**

**实验室主任：李宁**

**主管院长：闫茂德**