
概 述

北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院自动控制与测试教学实验中心是国家 211 工程建设项目、校级实验教学示范中心，其中的自动控制理论教学实验室面向全校开放，承担全校自动控制原理的本科生实验课教学。

本实验说明书所涉及的自动控制原理实验采取半实物仿真方式实现。半实物仿真一般是把数学模型、实体模型和系统的实际设备联系在一起进行运行，组成仿真系统。而在对此系统进行仿真时，因有实物介入仿真回路，要求仿真是实时进行的，仿真机必须在与真实系统同步的条件下，获取动态的输入信号，并实时地产生动态的输出响应。半实物仿真已经成为国防、工程领域内一种应用广泛的仿真技术，从某种程度上讲半实物仿真技术已经成为其整体科学技术水平的体现和代表。半实物仿真技术在一般的工业控制中更为常见，其控制器可以由计算机实现，将控制对象作为实物直接放置在仿真回路中，构造起半实物仿真系统。

实验系统硬件部分包括计算机、数据采集板和电子模拟机。电子模拟机用来实现系统模型（实物部分），数据采集板用来完成数字量及模拟量的转换以及信号的产生和数据的采集和处理，计算机用来实现综合的实验软件管理以及算法。

实验系统软件部分借助 MATLAB 软件实现，包括信号源的产生、数据的采集、控制算法和系统模型。自动控制教学实验中心自行开发了 PCI 数据采集板在 MATLAB 下的驱动程序，可实现在 MATLAB 下实时的数据输出和采集，该驱动程序是整个实验系统的核心。

基于半实物仿真技术的自动控制原理实验，倡导的是自主性和研究性的实验方法，实验分为基本实验内容和研究性实验内容两种。基本实验内容可以完成设定的实验包括：典型环节实验、频率特性测试、控制系统串联校正、PID 控制器、状态反馈与观测器、采样系统研究实验、非线性环节实验等多种控制理论实验。研究性实验则非常灵活，借助硬件驱动可实现基本的数据的输入输出，MATLAB 可实现控制算法和系统模型的构建，两者的结合可实现任何的实验系统，达到实验者进行相应控制理论研究的目的。实验者可在根据自身情况选择实验方式和方法。

自动控制原理实验以学生自主实验为主，教师指导为辅，因此要求学生实验前应完成相关部分的理论课程学习，具备一定的 MATLAB 基础，并进行提前预习！

1 仪器设备简介

1.1 数据采集卡

数据采集卡可用于完成数字量和模拟量之间的相互转换，并可模拟量和数字量的输入输出。实验室所采用的是基于 PCI 总线的多功能模入模出接口卡，本卡具有 12 位精度的 A/D 和 D/A，同时具备 16 路数字量输入和 16 路数字量输出。

1.2 电子模拟机

HHMN-1 型电子模拟机用来对控制系统实现电子模拟，通过在电子模拟机上搭接模拟电路的方法来实现各种典型环节和控制系统的传递函数。

电子模拟机以积分器和加法器为基础，分为九个单独的运算放大器模块，配置了二极管、电位计、分压器、电阻、电容等部件，每个运放模块都相互独立，如果各部件之间有黑线连接则说明是连通的，不再需要导线连接，相反则需要用导线进行连接使用。模拟机后面有一个 37 针 D 型头接口和计算机内的数据采集板进行连接通信，模拟机上所有的共地点都已经连好，不再需要连接。模拟机右侧有 10 路 A/D（模拟量输入采集），2 路 D/A（模拟量输出）的插孔，实验者可根据实验要求自行连接。在进行系统的输入输出端和模拟机接口进行连接时，应特别小心，不要接错，在连接好了以后要请老师检查后再接通电源。

模拟机右侧配有一个红色按钮，是电容放电（复位）按钮，每次开始实验采集数据前均要按下“复位”键，使每个积分器反馈回路中的电容通过按键的 a、b 接点放电，消除电容上的残余电荷，从而提高重复运算的精度，尽量消除零点和积分飘移对系统的影响，复位电路如图 1 所示。

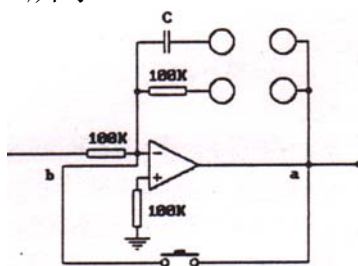


图 1

1.3 实验导线

实验中所使用的导线，是一次压制成型的，导线插头采用自锁紧方式，插头插入后顺时针方向旋转一定角度即可锁紧，拔除时逆时针方向旋转后方可拔出，严禁拉着导线拔出，这样容易造成导线不易发现的损坏，给实验带来不必要的麻烦，同时造成财产的损失。另外，不可以带电插拔导线。

2 电路基础知识

2.1 介绍运算放大器

运算放大器是一种用来完成各种数学运算的元件，如进行反号、加法和积分运算。运算放大器是一种直流放大器，它具有很高的增益，因此从放大器的输出端到反相输入端需要负反馈以保证放大器的稳定。运算放大器有两个输入端和一个输出端，通常所使用的是运放带（-）号的反相输入端，不可使用带（+）号的同相输入端。所以要注意运算放大器的极性，一个运算放大器将改变一次代数符号，尤其在使用多个运算放大器连接单位负反馈时一定不要接错。模拟机上配备的运算放大器芯片技术资料如下：

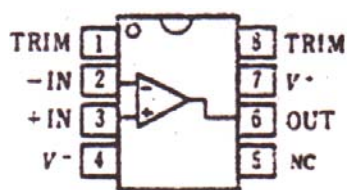


图 2 op07 管脚图

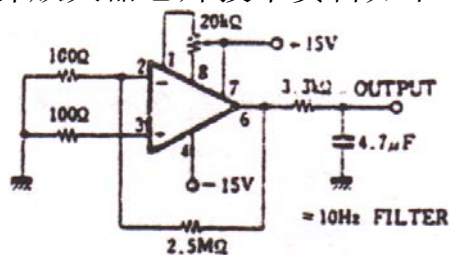


图 3 典型电路

主要电特性：

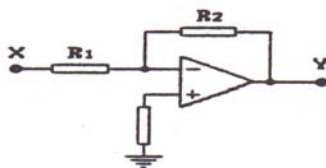
- | | |
|----------------------|----------------|
| ① 输入失调电压：85 μV | ⑤ 增益带宽积：0.6MHz |
| ② 输入失调电压温飘：0.5 mV/°C | ⑥ 电源电压：±22V |
| ③ 输入电阻：33MΩ | ⑦ 输出电压：±11V |
| ④ 电压增益：400V/MV | |

典型环节的传递函数及其模拟电路：

① 比例放大环节：

$$\text{传递函数为：} \frac{Y(S)}{X(S)} = -K \quad K = \frac{R_2}{R_1}$$

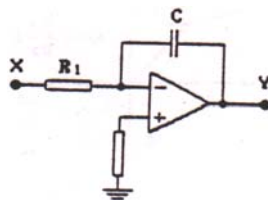
模拟运算电路为：



② 积分环节：

$$\text{传递函数为：} \frac{Y(S)}{X(S)} = -\frac{1}{TS} \quad T = R_1 C$$

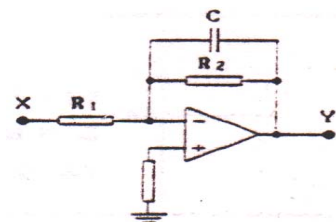
模拟运算电路为：



③一阶惯性环节：

传递函数为： $\frac{Y(S)}{X(S)} = -\frac{K}{TS+1} \quad T = R_2C \quad K = \frac{R_2}{R_1}$

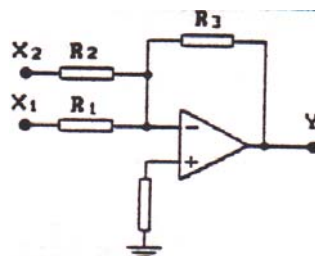
模拟运算电路为：



④求和：

传递函数为： $Y(S) = -[K_1X_1(S) + K_2X_2(S)] \quad K = \frac{R_3}{R_1} \quad K = \frac{R_3}{R_2}$

模拟运算电路为：

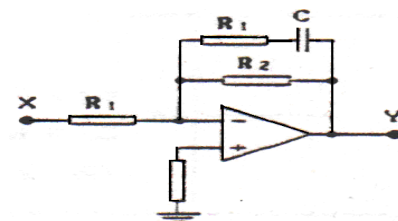


⑤比例-积分：

传递函数为： $\frac{Y(S)}{X(S)} = -K \frac{T_2S+1}{T_1S+1}$

$T_1 = (R_1 + R_2)C \quad T_2 = R_1C \quad K = \frac{R_2}{R_1}$

模拟运算电路为：

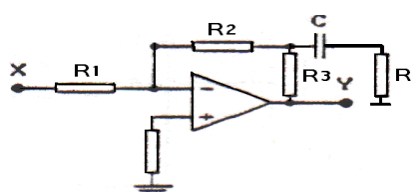


⑥比例-微分：

传递函数为： $\frac{Y(S)}{X(S)} = -K \frac{T_dS+1}{TS+1}$

$T_d = (R_3 + R_2)C \quad T = R_4C \quad K = \frac{R_2 + R_3}{R_1}$

模拟运算电路为：



2.2 电阻的测量

使用数字万用表测量电阻阻值时，应当注意以下几个方面：首先应使用与希望值相接近的电阻量程，其次测量电阻时，要将模拟机的电源关上，带电测量电阻量出的阻值是不准确的。第三点是在测量电阻时一定要尽量保证对电阻进行单独测量，将电阻两端的导线拔去后，直接测量电阻的两端，以免受到其它电子元件的影响。

2.3 常见问题的排除方法：

问题一（使用不当）：由于运算放大器通常需要搭成负反馈，以保证其工作稳定，因此在选择电阻和电容时，一定要注意不能够单独使用运算放大器输出端的电阻和电容（如图4所示方框内的部分）。

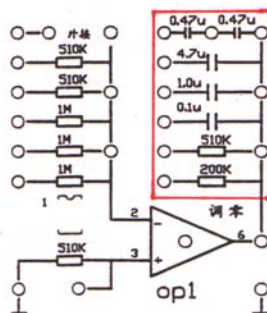


图4

问题二（导线损坏）：检查导线是否损坏的方法是使用万用表测量每根导线，察看每一根导线是否连通。

问题三（运放损坏）：判断运算放大器是否正常，较简单的方法是在运算放大器上搭接反相器，分别测量其输入和输出的电压，因为反相器的传递函数为-1，其输出和输入的电压应正好相反（运放已经调零）。测试电路的连接方法如下：

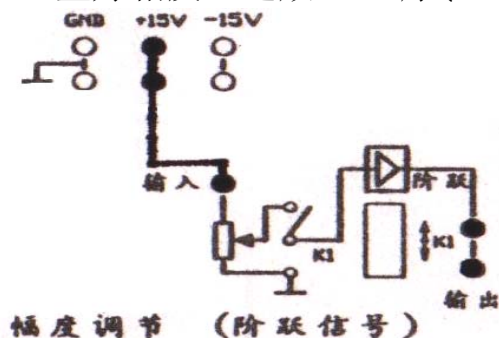


图5

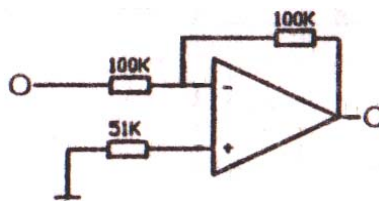


图6

图5为电子模拟机左侧电源部分的连接方法，将+15V与阶跃信号的输入连接，阶跃信号的输出与反相器的输入连接，反相器的连接方法如图6（反相器为反馈电阻和输入电阻的阻值相同）。

3 软件使用简介

3.1 MATLAB 简介

MATLAB 是美国 MathWorks 公司开发的软件产品，它提供了丰富的指令和控制工具箱，Simulink 是其中的可视化图形工具包，提供了图形化的动态系统建模、仿真、分析界面，RTW(Real-Time Workshop)是 MATLAB 图形建模和仿真环境 Simulink 的一个重要的补充功能模块，它能直接从 Simulink 的模型中产生优化的、可移植的和个性化的代码，并根据目标配制自动生成多种环境下的程序。利用它可加速仿真过程，或生成可在不同的快速原型化实时环境下的程序，通过使用 RTW，可以将主要精力集中在系统设计上，使半实物仿真的优势得以充分体现，能够实现 Simulink 和 Matlab 的无缝集成与连接。

Real-Time Workshop(RTW)结合 MATLAB 内的其他产品，最常见的是 Simulink 和 Stateflow 一起进行产品开发在国外是十分流行的，有着大量成功的案例。这些成功的案例包括美国国家航天局(NASA)，日本的 Nissan 等都得益于它集成开发的，大大缩短开发周期和经费。霍尼韦尔的 Commuter 航电公司更新用于 Primus 航电系统的飞行控制软件时，它们采用 Simulink 与 Real-Time Workshop。通过它们进行建模与代码生成环境使得该公司节约了时间并获得了高质量的代码。所开发的飞行控制系统 60%的最终代码是由 Real-Time Workshop 自动生成的。其余的旧代码与手工优化的代码中集成进来。并在 1998 年 6 月这一系统被广泛地飞行测试所认证。

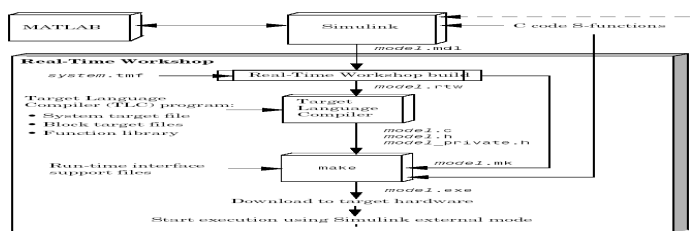


图 7 RTW 结构图

Real-Time Workshop 的仿真流程可进一步概括为图 8 所示。

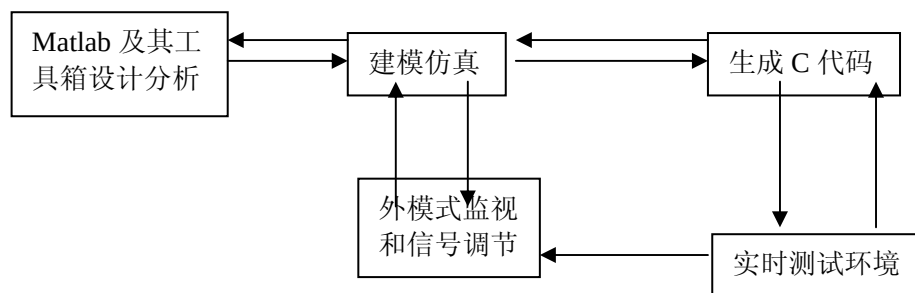


图 8 RTW 半实物仿真流程图

RTW 半实物仿真示例

如图 9 所示，建立系统仿真模型。仿真前要先利用 build 命令对目标进行编译，成功后与目标进行连接(connect to target)，运行仿真即可，结果如图 10 所示。

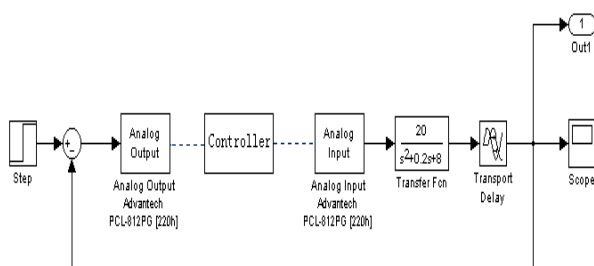


图 9 系统仿真模型

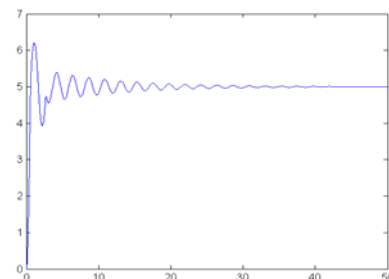


图 10 仿真结果

3.2 实验系统软件使用

硬件平台为普通 PC 机，I/O 接口板为 PCI 数据采集板，软件平台使用 Microsoft Windows XP、Matlab 2006a(包括 Matlab、Simulink、Real-Time Workshop 和 Real-Time Windows Target)、Visual C++ 6.0 等。

这里指的实验系统软件指基本实验内容。步骤如下：

1. 双击桌面 MATLAB 图标打开软件，在 MATLAB 的命令提示符后输入 AUTOLAB 命令执行，即可打开实验软件系统。
2. 软件界面上方进行实验项目的选择，选择相应的实验后，在左侧有相应的实验内容和要求，分别为：实验内容、实验原理、实验步骤、实验报告和设备、实验模型几个部分。
3. 选择“实验模型”后将打开一个实验模型界面，可进行仿真和实验。在工具栏中首先选择“Normal”方式，点击运行可进行理论仿真。选择“External”方式，首先选择  图标“Incremental build”进行编译，然后选择  图标“Connect To Target”连接目标，最后选择  图标“Start real-time code”执行。**注意：**在实验过程中如果更改系统模型则必须进行重新编译，更改外部电路则不需要重新编译，只进行连接和运行即可！
4. 从“Scope”窗口中观测实验结果，在 MATLAB 的“workspace”中可得到实验的数据。可将实验数据导出以 mat 类型文件存盘。但是需要注意每次实验完成后应及时对数据进行保存，否则，下次实验的数据将会覆盖原数据！

3.3 研究性实验方法

1. 建立 Simulink 的系统模型图(可参照给定的模型图建立)。在“Simulink Library Browser”中找到“My Blockset”打开,选择“Real-time Windows Target”中的“PCI-2013”,可看到四个模块,分别为“A/D、D/A、DI、DO”,拖动相应的模块到模型中。模型其他部分自行建立,此处不再叙述。相关参数设置由实验指导教师进行指导。

2. 在C:\Program Files\MATLAB\R2006a\work目录下有一个Basemodel.mdl模型文件,其中包含最基本的输入输出模块,实验者也可以以此模型为基础建立实验系统模型。

3. 完成相应配置后,可对模型进行编译、连接、执行等步骤的操作,设置采样时间的时候应保证A/D和D/A的采样时间一致。

实验一 一、二阶系统的电子模拟及时域响应的动态测试

一、实验目的

1. 了解一、二阶系统阶跃响应及其性能指标与系统参数之间的关系。
2. 学习在电子模拟机上建立典型环节系统模型的方法。
3. 学习阶跃响应的测试方法。

二、实验内容

1. 建立一阶系统的电子模型, 观测并记录在不同时间常数 T 时的跃响应曲线, 并测定其过渡过程时间 T_S 。
2. 建立二阶系统的电子模型, 观测并记录在不同阻尼比 ζ 时的跃响应曲线, 并测定其超调量 $\sigma\%$ 及过渡过程时间 T_S 。

三、实验原理

1. 一阶系统:

$$\text{系统传递函数为: } \Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{TS + 1}$$

模拟运算电路如图 1-1 所示:

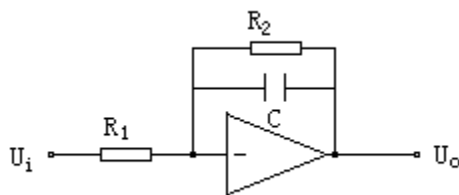


图 1-1

$$\text{由图 1-1 得 } \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{\frac{R_2}{R_1}}{R_2CS + 1} = \frac{K}{TS + 1}$$

在实验当中始终取 $R_2 = R_1$, 则 $K=1$, $T = R_2C$

取不同的时间常数 T 分别为: 0.25、0.5、1

记录不同时间常数下阶跃响应曲线, 测量并纪录其过渡过程时间 T_S , 将参数及指标填在表 1-1 内:

表 1-1

T	0.25	0.5	1
R2			
C			
T_S 实测			
T_S 理论			
阶跃响应曲线			

2. 二阶系统:

其传递函数为: $\Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$

令 $\omega_n=1$ 弧度/秒, 则系统结构如图 1-2 所示:

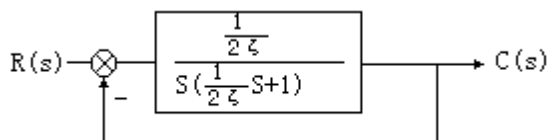


图 1-2

根据结构图, 建立的二阶系统模拟线路如图 1-3 所示:

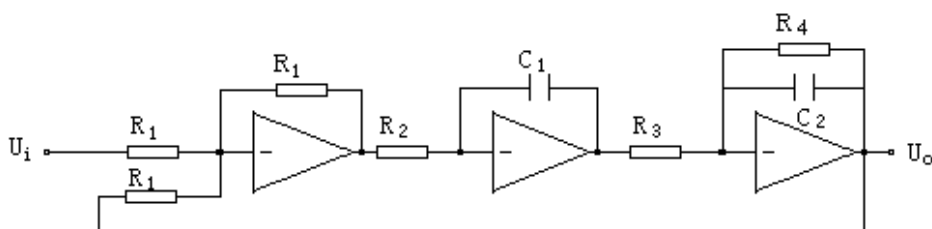


图 1-3

取 $R_2C_1=1$, $R_3C_2 =1$, 则 $\frac{R_4}{R_3} = R_4C_2 = \frac{1}{2\zeta}$ 及 $\zeta = \frac{1}{2R_4C_2}$

ζ 取不同的值 $\zeta=0.25$, $\zeta=0.5$, $\zeta=1$, 观察并记录阶跃响应曲线, 测量超调量 $\sigma\%$, 计算过渡过程时间 T_s , 将参数及各项指标填入表 1-2 内:

表 1-2

ζ	0.25	0.5	1.0
R4			
C2			
$\sigma\%$ 实测			
$\sigma\%$ 理论			
T_s 实测			
T_s 理论			
阶跃响应曲线			

以上实验, 配置参数时可供选择的电阻 R 值有 $100K\Omega$, $1M\Omega$, $470K\Omega$ (可调), $2.2M\Omega$ (可调), 电容 C 值有 $1\mu f$, $10\mu f$ 。

四、实验步骤

1. 熟悉 HHMN-1 型电子模拟机的使用方法, 将各运算放大器接成比例器, 通电调零。
2. 断开电源, 按照实验说明书上的条件和要求, 计算电阻和电容的取值, 按照模拟线路图搭接线路, 不用的运算放大

器接成比例器。

3. 将 D/A1 与系统输入端 U_i 连接, 将 A/D1 与系统输出端 U_o 连接(此处连接必须谨慎, 不可接错)。线路接好后, 经教师检查后再通电。
4. 在 Windows XP 桌面用鼠标双击“MATLAB”图标后进入, 在命令行处键入“autolab”进入实验软件系统。
5. 在系统菜单中选择实验项目, 选择“实验一”, 在窗口左侧选择“实验模型”, 其它步骤察看 3.2 节内容。
6. 观测实验结果, 记录实验数据, 绘制实验结果图形, 填写实验数据表格, 完成实验报告。
7. 研究性实验方法。

实验者可自行确定典型环节传递函数, 并建立系统的 SIMULINK 模型, 验证自动控制理论相关的理论知识。实现步骤可察看 3.3 节内容。

五、实验报告

1. 画出系统模拟运算电路图, 并标出电阻、电容的取值。
2. 画出各种情况下的系统阶跃响应曲线。
3. 填写实验数据表格。分析实验结果并与理论计算值进行比较, 分析误差及其产生的原因。
4. 分析自行建立的系统模型的实验结果, 结合理论知识进行分析比较, 得出实验结论。

六、实验设备

1. HHMN-1 型电子模拟机一台。
2. PC 机一台。
3. 数字式万用表一块。

实验二 频率响应测试

一、实验目的

1. 掌握频率特性的测试原理及方法。
2. 学习根据所测定出的系统的频率特性，确定系统传递函数的方法。

二、实验内容

1. 测定给定环节的频率特性。
2. 系统模拟电路图及系统结构图分别如图 2-1 及图 2-2。

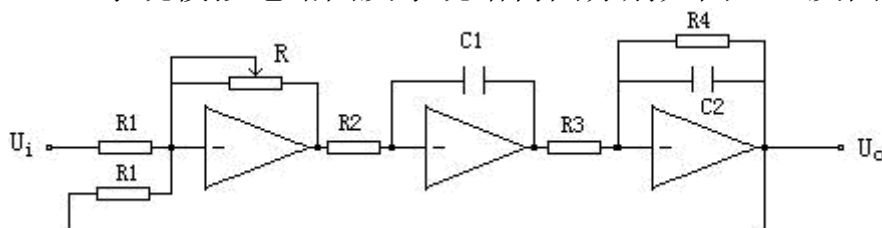


图 2-1

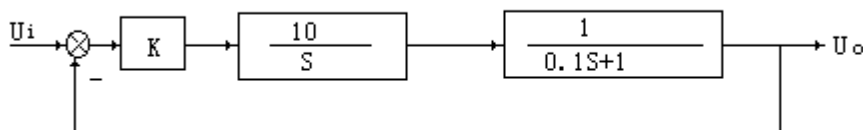


图 2-2

3. 系统传递函数为：

$$\text{取 } R=200\text{K}\Omega, \text{ 则 } G(s)=\frac{200}{s^2+10s+200}$$

$$\text{取 } R=500\text{K}\Omega, \text{ 则 } G(s)=\frac{500}{s^2+10s+500}$$

若正弦输入信号为 $U_i(t)=A_1\sin(\omega t)$ ，则当输出达到稳态时，其输出信号为 $U_o(t)=A_2\sin(\omega t+\psi)$ 。改变输入信号频率 $f=\frac{\omega}{2\pi}$ 值，便可测得二组 A_1/A_2 和 ψ 随 f (或 ω) 变化的数值，这个变化规律就是系统的幅频特性和相频特性。

三、实验原理

1. 幅频特性即测量输入与输出信号幅值 A_1 及 A_2 ，然后计算其比值 A_2/A_1 。

2. 实验采用“李沙育图形”法进行相频特性的测试。以下简单介绍一下这种测试方法的原理。

设有两个正弦信号：

$$X(\omega t)=X_m\sin(\omega t)$$

$$Y(\omega t)=Y_m\sin(\omega t+\psi)$$

若以 $X(t)$ 为横轴， $Y(t)$ 为纵轴，而以 ω 作为参变量，则随着 ωt 的变化， $X(t)$ 和 $Y(t)$ 所确定的点的轨迹，将在 X - Y 平面上描绘出一条封闭的曲线。这个图形就是物理学上称为的“李沙育图形”如图 2-3 所示。

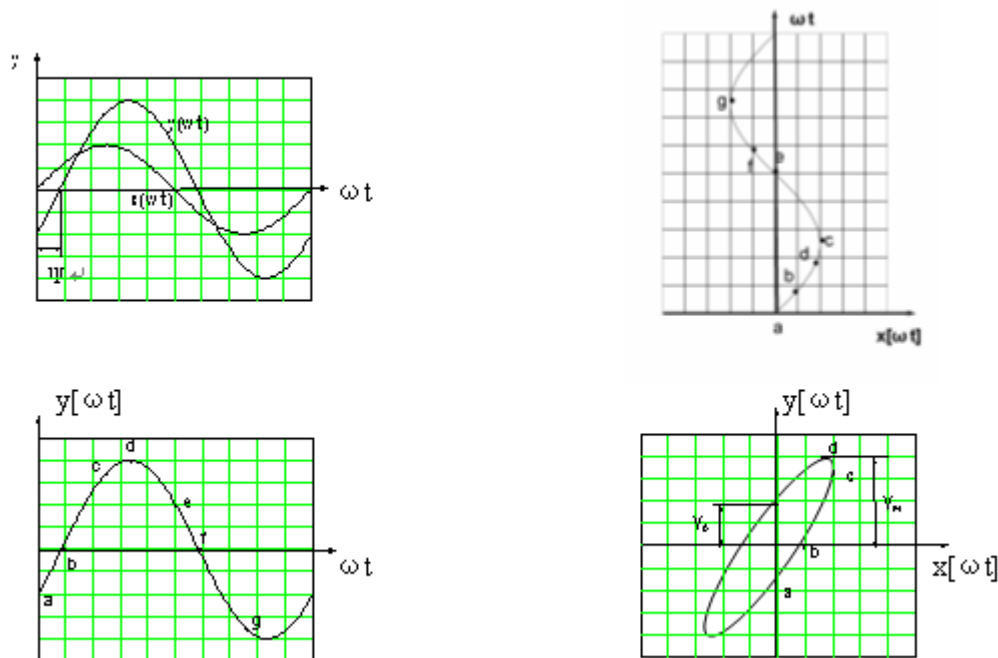


图 2-3

3. 相位差角 Ψ 的求法:

对于 $X(\omega t) = X_m \sin(\omega t)$ 及 $Y(\omega t) = Y_m \sin(\omega t + \psi)$

当 $\omega t = 0$ 时，有 $X(0) = 0$; $Y(0) = Y_m \sin(\psi)$

即 $\psi = \text{ArcSin}(Y(0)/Y_m)$ ，显然，仅当 $0 \leq \psi \leq \pi/2$ 时，上式才是成立的。

4. 记录实验结果数据填写下表:

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
f										
ω										
A_c/A_r										
Y_m/Y_0										
ψ										

四、实验步骤

1. 熟悉 HHMN-1 型电子模拟机的使用方法。将各运算放大器接成比例器，通电调零。
2. 断开电源，按照系统结构图和系统传递函数计算电阻和电容的取值，并按照模拟线路图搭接线路，不用的运算放大器接成比例器。

3. 将 D/A1 与系统输入端 U_i 连接, 将 A/D1 与系统输出端 U_o 连接(此处连接必须谨慎, 不可接错)。线路接好后, 经教师检查后再通电。
4. 在 Windows XP 桌面用鼠标双击“MATLAB”图标后进入, 在命令行处键入“autolab”进入实验软件系统。
5. 在系统菜单中选择实验项目, 选择“实验二”, 在窗口左侧选择“实验模型”, 其它步骤察看 3.2 节内容。
6. 观测实验结果, 记录实验数据, 绘制实验结果图形, 填写实验数据表格, 完成实验报告。采用示波器 (Scope) 观察“输入”与“输出”波形, 测定输出和输入的正弦曲线幅值。采用“XY Graph”观测李沙育图形。
7. 研究性实验方法。

实验者可自行确定代测系统传递函数, 并建立系统的 SIMULINK 模型, 验证自动控制理论相关的理论知识。实现步骤可察看 3.3 节内容。

五、实验报告

1. 画出系统模拟运算电路图, 并标出电阻、电容的取值。
2. 画出两组示波器和李沙育图形。
3. 用测量的实验数据分别计算并求出两种系统的传递函数的参数, 并确定系统的传递函数。
4. 填写实验数据表格。
5. 分析实验数据, 并就理论值与实测值产生的误差进行分析, 并说明原因。
6. 分析自行建立的系统模型的实验结果, 结合理论知识进行分析比较, 得出实验结论。

六、实验设备

1. HHMN-1 型电子模拟机一台。
2. PC 机一台。
3. 数字式万用表一块。

师检查后再通电。

3. 在 Windows XP 桌面用鼠标双击“MATLAB”图标后进入，在命令行处键入“autolab”进入实验软件系统。
4. 在系统菜单中选择实验项目，选择“实验三”，在窗口左侧选择“实验模型”，其它步骤察看 3.2 节内容。
5. 分别完成不加校正，加入超前校正，加入滞后校正的实验。在系统模型上的“Manual Switch”处可设置系统是否加入校正环节，在“ $G_c(S)$ ”处可设置校正环节的传递函数。
6. 绘制以上三种情况时系统的波特图。
7. 采用示波器（Scope）观察阶跃响应曲线。观测实验结果，记录实验数据，绘制实验结果图形，完成实验报告。
8. 研究性实验方法。

实验者可自行确定系统传递函数，同时设计校正环节，并建立系统的 SIMULINK 模型，验证自动控制理论相关的理论知识。实现步骤可察看 3.3 节内容。

五、实验报告

1. 设计超前校正环节和滞后校正环节，写出校正环节的传递函数。
2. 画出系统模拟运算电路图，并标出电阻、电容的取值。
3. 画出系统不加校正、加超前校正、加滞后校正的阶跃响应曲线和波特图。
4. 计算截止频率和稳定域度。
5. 分析实验数据，并从时域和频域两个角度，总结分析校正环节对于系统稳定性和过渡过程的影响。
6. 分析自行设计和建立的系统模型和校正环节的影响情况，分析实验结果，验证自动控制理论。

六、实验设备

1. HHMN1-1 型电子模拟机一台。
2. PC 机一台。
3. 数字式万用表一块。

附录 B

实验步骤

实验一：

- 1 确定已断开电子模拟机的电源，按照实验说明书的条件和要求，根据计算的电阻电容值，搭接模拟线路；
- 2 将系统输入端 U_i 与 D/A1 相连，将系统输出端 U_o 与 A/D1 相连；
- 3 检查线路正确后，模拟机可通电；
- 4 双击桌面的“自控原理实验”图标后进入实验软件系统。
- 5 在系统菜单中选择“项目”——>“典型环节实验”；在弹出的对话框中阶跃信号幅值选 1 伏，单击按钮“硬件参数设置”，弹出“典型环节参数设置”对话框，采用默认值即可。
- 6 单击“确定”，进行实验。完成后，检查实验结果，填表记录实验数据，抓图记录实验曲线。

实验二：

- 1 画出系统模拟运算电路图，标出电阻、电容的取值。
- 2 画出 $K=2$ 和 $K=5$ 两种情况下的自动方式、示波器方式和李沙育方式的图形。（示意）
- 3 填写实验数据表格。
- 4 用测量的实验数据分别计算出两种系统的传递函数的参数，并确定系统的传递函数。
- 5 分析实验数据，就理论值与实测值的差异进行分析，说明误差产生的原因。

实验三：

- 1 确定已断开电子模拟机的电源，按照实验说明书的条件和要求，根据计算的电阻电容值，搭接模拟线路；
- 2 将系统输入端 U_i 与 D/A1 相连，将系统输出端 U_o 与 A/D1 相连；
- 3 检查线路正确后，模拟机可通电；
- 4 双击桌面的“自控原理实验”图标后进入实验软件系统。
- 5 **时域：**在系统菜单中选择“项目”——>“校正”。在弹出的对话框中阶跃信号幅值选 1 伏。选中“不加校正”，单击“确定”后，得到原始系统的动态响应图；选中“超前校正”，输入参数 a 、 T 的值，单击“确定”后，得到加入超前校正后系统的动态响应图；选中“滞后校正”，输入参数

- b、T 的值，单击“确定”后，得到加入滞后校正后系统的动态响应图；
- 6 完成后，检查实验结果，填表记录实验数据，抓图记录实验曲线。
 - 7 **频域：**打开 Matlab 软件，在命令窗口输入相关命令，在得到的图形中读出系统的相角域度、幅值裕度、截止频率等参数信息。

实验四：（非线性）

- 1 确定已断开电子模拟机的电源，按照实验说明书的条件和要求，根据计算的电阻电容值，搭接模拟线路；
- 2 将系统输入端 U_i 与 D/A1 相连，将系统输出 c 与 A/D0 相连，与 A/D1 相连；
- 3 检查线路正确后，模拟机可通电；
- 4 双击桌面的“自控原理实验”图标后进入实验软件系统。
- 5 在系统菜单中选择“项目”---->“非线性”；在弹出的对话框中阶跃信号幅值选 1V，选中“无非线性”和“动态响应”，单击“确定”后，得到无非线性时的动态响应图；选中“无非线性”和“相平面分析”，单击“确定”后，得到无非线性时的相平面图；
- 6 选中“摩擦特性”和“动态响应”，设置摩擦特性参数，单击“确定”后，得到摩擦特性时的动态响应图；选中“摩擦特性”和“相平面分析”，单击“确定”后，得到摩擦特性时的相平面图；
- 7 选中“饱和特性”和“动态响应”，设置饱和特性参数，单击“确定”后，得到饱和特性时的动态响应图；选中“饱和特性”和“相平面分析”，单击“确定”后，得到饱和特性时的相平面图；
- 8 选中“继电特性”和“动态响应”，设置继电特性参数，单击“确定”后，得到继电特性时的动态响应图；选中“继电特性”和“相平面分析”，单击“确定”后，得到继电特性时的相平面图；
- 9 实验完成后，检查实验结果，抓图记录实验曲线。

实验五：

- 1 确定已断开电子模拟机的电源，按照实验说明书的条件和要求，根据计算的电阻电容值，搭接模拟线路；

- 2 将系统输入端 U_i 与 D/A1 相连, 将系统输出端 U_o 与 A/D1 相连;
- 3 检查线路正确后, 模拟机可通电;
- 4 双击桌面的“自控原理实验”图标后进入实验软件系统。
- 5 在系统菜单中选择“项目”---->“采样系统”; 在弹出的对话框中阶跃信号幅值选 1 伏, 单击按钮“硬件参数设置”, 弹出“参数设置”对话框, 改变采样周期的值。
- 6 单击“确定”, 进行实验。完成后, 检查实验结果, 填表记录实验数据, 抓图记录实验曲线。

实验六:

- 1 确定已断开电子模拟机的电源, 按照实验说明书的条件和要求, 根据计算的电阻电容值, 搭接模拟线路;
- 2 将系统输入端 U_i 与 D/A1 相连, 将系统输出端 U_o 与 A/D1 相连;
- 3 检查线路正确后, 模拟机可通电;
- 4 双击桌面的“自控原理实验”图标后进入实验软件系统。
- 5 在系统菜单中选择“项目”---->“状态空间”, 在弹出的对话框中阶跃信号幅值选 1 伏。选中“不加观测器”, 单击“确定”后, 得到原始系统的动态响应图。选中“加观测器”, 设置 A、B、C、D 及系统极点和观测器极点, 单击“确定”后, 得到加状态观测器的动态响应图。

实验完成后, 检查实验结果, 填表记录实验数据, 抓图记录实验曲线。