

自动控制技术实验

实验一 熟悉 MATLAB 仿真工具

一、实验目的

- 1、了解 MATLAB 语言环境。
- 2、熟悉 MATLAB 命令的基本操作。
- 3、练习 m 文件的基本操作。

二、实验设备

PC 机, MATLAB 仿真软件。

三、实验内容

- 1、了解 MATLAB 语言环境: MATLAB 的启动, 运行; MATLAB 的联机帮助及实例演示。
- 2、熟悉 MATLAB 常见命令 dir、type、cd 等的基本操作。
【type: 显示文件内容命令】
- 3、练习 m 文件的基本操作: 文件的建立、保存, 运行。

四、实验步骤

- 1、学习了解 MATLAB 语言环境

开机执行程序 matlab.exe(或用鼠标双击图标)即可进入 MATLAB 命令窗口:

“Command Window”. 在命令提示符位置键入命令。完成下述练习。

MATLAB 的联机帮助: help。

MATLAB 的实例演示: demo。

- 2、练习 MATLAB 常见命令

MATLAB 语言与 DOS 操作系统有如下常用的相似命令, 在操作界面上练习这些命令。

```
dir      dir c:\matlab\toolbox
```

```
type     type anyprogram.m
```

```
cd       cd.   cd  toolbox
```

- 3、练习 m 文件的基本操作

打开 File 菜单, 其中有

“New M-file” 用于打开 m 文件。

“Open M-file” 用于打开 m 文件。

“Run M-file” 用于执行 m 文件。

可以自由练习上述两项操作。注意: 大部分 m 文件需要相应的数据才可以运行, 此时命令平台上给出警告提示。

五、预习要求

- 1、仔细阅读实验指导书。

2、有条件的可提前上机练习。

六、实验报告要求

按照上述步骤进行实验，并按实验记录完成实验报告。

实验二 基于 MATLAB 的二阶系统动态性能分析

一、实验目的

- 1、观察学习二阶控制系统的单位阶跃响应、脉冲响应。
- 2、记录单位阶跃响应曲线、脉冲响应曲线。
- 3、掌握时间响应分析的一般方法。
- 4、掌握系统阶跃响应曲线与传递函数参数的对应关系。

二、实验设备

PC 机，MATLAB 仿真软件。

三、实验内容

- 1、作以下二阶系统的单位阶跃响应曲线

$$G(s) = \frac{10}{s^2 + s + 10}$$

- 2、分别改变该系统的 ζ 和 ω_n ，观察阶跃响应曲线的变化。
- 3、作该系统的脉冲响应曲线。

四、实验步骤

- 1、二阶系统为

$$G(s) = \frac{10}{s^2 + s + 10}$$

- (1) 键入程序 观察并纪录阶跃响应曲线

【程序：

```
num=[10]; %传递函数的分子多项式系数矩阵
den=[1 1 10]; %传递函数的分母多项式系数矩阵
G=tf(num,den); %建立传递函数
step(G); %绘制单位阶跃响应曲线
grid on; %图形上出现表格】
```

(注：①通过以上命令得到单位阶跃响应曲线如图 1，同时 在曲线上根据性能指标的定义单击右键，则分别可以得到此系统的性能指标：峰值时间

tp= s；调节时间 ts= s；上升时间 tr= s；超调量 Mp%= %。

② 该程序即可在命令窗口运行，也可以存储成.M 文件来运行。)

- (2) 键入

damp (den)

计算系统的闭环根、阻尼比、无阻尼振荡频率，**并作记录。**

【注：该项内容在命令窗口中完成，实验结果在命令窗口中显示。】

(3) 键入

```
[y, x, t]=step (num, den)
```

%返回变量输出 y 与时间 t (变量 x 为状态变量矩阵)

```
[y, t']
```

%显示输出向量 y 与时间向量 t (t 为自动向量)

【注：该项内容在命令窗口中完成，实验结果在命令窗口中显示。

实际为数据形式输出的对应于曲线的结果。】

(4) 数据记录

记录实际测取的峰值大小、 $C_{\max}(t_p)$ 、峰值时间 t_p 、过渡时间 t_s 并与理论值相比较。

		实际值	理论值
峰值 $C_{\max}(t_p)$			
峰值时间 t_p			
过渡时间 t_s	$\pm 5\%$		
	$\pm 2\%$		

【注：该表格中，实际值可以在曲线通过点击右键来完成，理论值通过计算填入。】

2、修改参数, 分别实现 $\zeta=1$, $\zeta=2$ 的响应曲线, 并作记录。

【注：该系统为 $G(s) = \frac{10}{s^2 + 2s + 10}$ 】

①原系统程序为：

```
n0=10; d0=[1 2 10]; step (n0, d0 ); %原系统  $\zeta=0.36$ 
```

```
hold on
```

%保持原曲线

②修改为 $\zeta=1$ 的程序为：

```
n1=n0, d1=[1 6.32 10]; step (n1, d1); % 修改为  $\zeta=1$ 
```

③修改为 $\zeta=2$ 的程序为：

程序为:

n1=n0, d1=

n2=n0; d2=[1 12.64 10]; step(n2,d2) ; % 修改为 $\zeta=2$

④ 修改参数, 写出程序分别实现 $\omega_{n1}=\frac{1}{2}\omega_{n0}$ 和 $\omega_{n2}=2\omega_{n0}$ 的响应曲线, 并作记录。

% 原系统 $\omega_{n0}=\sqrt{10}$, 即 $\left(\omega_{n0}\right)^2=10$

3、试作以下系统的脉冲响应, 并比较与原系统响应曲线的差别与特点, 作出相应的实验分析结果 【选作项目】

(a) $G_1(s)=\frac{2s+10}{s^2+2s+10}$, 有系统零点情况, 即 $s=-5$ 。

(b) $G_2(s)=\frac{s^2+0.5s+10}{s^2+2s+10}$, 分子分母多项式阶数相等, 即 $n=m=2$ 。

(c) $G_3(s)=\frac{s^2+0.5s}{s^2+2s+10}$, 分子多项式零次项系数为零。

(d) $G_4(s)=\frac{s}{s^2+2s+10}$, 原响应的微分, 微分系数为 $1/10$ 。

【对应系统 (a) 的例程序:

num=[2 10]; %传递函数的分子多项式系数矩阵

den=[1 2 10]; %传递函数的分母多项式系数矩阵

G=tf(num,den); %建立传递函数

impulse(G); %绘制单位脉冲响应曲线

grid on; %图形上出现表格】

五、预习要求

- 1、仔细阅读实验指导书。
- 2、预习相关控制理论知识。
- 3、完成相关仿真程序的书面设计。
- 4、有条件的可提前上机练习。

六、实验报告要求

- 1、分析系统的阻尼比和无阻尼振荡频率对系统阶跃响应的影响。
- 2、分析响应曲线的零初值、非零初值与系统模型的关系。
- 3、分析响应曲线的稳态值与系统模型的关系。
- 4、分析系统零点对阶跃响应的影响。

实验三 基于 MATLAB 的根轨迹绘制与性能分析

一、实验目的

- 1、利用计算机完成控制系统的根轨迹作图。
- 2、了解控制系统根轨迹图的一般规律。
- 3、利用根轨迹进行系统分析。

二、实验设备

PC 机，MATLAB 仿真软件。

三、实验内容

- 1、作系统 $G_{01}(s) = \frac{k_g}{s(s+1)(s+2)}$ 的根轨迹图，记录并观察曲线，依此分析系统的性能。
- 2、作系统 $G_{02}(s) = \frac{k_g(s+1)}{s(s-1)(s^2+4s+16)}$ 的根轨迹图，记录并观察曲线，依此分析系统的性能。
- 3、作系统 $G_{03}(s) = \frac{k_g(s+3)}{s(s+2)}$ 的根轨迹图，记录并观察曲线，依此分析系统的性能。

四、实验步骤

给定如下系统的开环传递函数，作出它们的根轨迹图，并完成给定要求。

1. $G_{01}(s) = \frac{k_g}{s(s+1)(s+2)}$

- 要求：(a) 准确记录根轨迹的起点、终点及根轨迹的条数。
(b) 确定根轨迹的分离点与相应的根轨迹增益。
(c) 确定临界稳定时的根轨迹增益。

2. $G_{02}(s) = \frac{k_g(s+1)}{s(s-1)(s^2+4s+16)}$

要求：确定根轨迹与虚轴交点并确定使得系统稳定的根轨迹增益取值范围

3. $G_{03}(s) = \frac{k_g(s+3)}{s(s+2)}$

- 要求：(a) 确定系统具有最大超调量 $M_{p\max}$ 时的根轨迹增益。
(b) 确定系统阶跃响应无超调量时的根轨迹增益取值范围。

五、预习要求

- 1、仔细阅读实验指导书。
- 2、预习相关控制理论知识。
- 3、完成相关仿真程序的书面设计。
- 4、有条件的可提前上机练习。

六、实验报告要求

- 1、记录给定系统与显示的根轨迹图。
- 2、完成上述各题要求，分析闭环极点在 s 平面上的位置与系统动态性能的关系。

例程序：绘制系统根轨迹图

首先在 MATLAB 命令窗口编写以下命令或建立 .M 文件运行：

```
num=[1]; %传递函数的分子多项式系数矩阵  
den=[1 3 2 0 ]; %传递函数的分母多项式系数矩阵(去括号)  
G=tf(num,den); %建立传递函数  
rlocus(G) ; %绘制系统根轨迹图
```

【要求：(a) 准确记录根轨迹的起点、终点及根轨迹的条数。

(b) 确定根轨迹的分离点与相应的根轨迹增益。

(c) 确定临界稳定时的根轨迹增益。

上述要求，均可通过点击曲线的响应位置读出 **】**

说明：(1)

`rlocus(G);` %求取根轨迹函数（根轨迹作图函数）

（使用该函数， K 的取值范围系统自动给出。）

`grid` %图形网格（等阻尼比曲线）

(2) 改变分子部分的常数项 1，即可改变 K 值。

实验四 基于 MATLAB 的频域分析

一、实验目的

- 1、利用计算机作典型环节和开环系统的波特图。
- 2、利用计算机作典型环节和开环系统的极坐标图。
- 3、观察记录控制系统的开环频率特性。
- 4、控制系统的开环频率特性分析。

二、实验设备

PC 机，MATLAB 仿真软件。

三、实验内容

- 1、作系统 $G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}$ 的波特图，记录并观察曲线，依此分析系统的性能。
- 2、作系统 $G(s) = \frac{31.6}{s(s+0.01)(0.1s+1)}$ 的波特图，记录并观察曲线，依此分析系统的性能。
- 3、作以下系统的波特图，其中 $G_c(s) = \frac{0.5s+1}{0.1s+1}$ ，记录并观察曲线，依此分析系统的性能。



- 4、作相关系统的极坐标图，并进行性能分析。

四、实验步骤

$$1、G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1} \begin{cases} T=0.1 \\ \xi = 2, 1, 0.5, 0.2, 0.01 \end{cases}$$

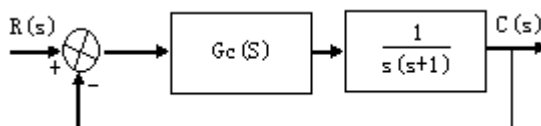
$$2、G(s) = \frac{31.6}{s(s+0.01)(0.1s+1)}$$

要求：(a) 做波特图，在曲线上标出：幅频特性，即低频段斜率、高频段斜率、开环截止频率、中频段穿越斜率和相频特性，即低频段渐进相位角、高频段近似相位角、 -180° 穿越频率。

(b) 在图上做近似折线特性，与原准确特性相比较

- 3、已知系统结构图如下所示，其中 $G_c(s) = \frac{0.5s+1}{0.1s+1}$ ，做波特图，并进行时域仿

真。



4、 $G(s) = \frac{k(T_1s+1)}{s(T_2s+1)}$, $T_1 > T_2$ or $T_1 < T_2$

- 要求：(a) 作极坐标图(可改变坐标范围或者设定角频率变量 ω)
(b) 比较 $T_1 > T_2$ 与 $T_1 < T_2$ 时两图区别与特点

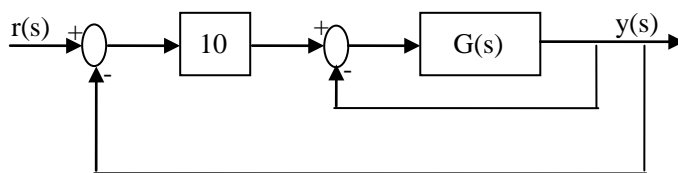
5、 $G(s) = \frac{k(T_1s+1)}{s^2(T_2s+1)}$, $T_1 > T_2$ or $T_1 < T_2$

- 要求：(a) 作极坐标图(可改变坐标范围或者设定角频率变量 ω)
(b) 比较 $T_1 > T_2$ 与 $T_1 < T_2$ 时两图区别与特点

6、一多环系统

$$G(s) = \frac{16.7s}{(0.85s+1)(0.25s+1)(0.0625s+1)}$$

其结构如下图，试用 Nyquist 频率曲线判断系统的稳定性。



五、预习要求

- 1、仔细阅读实验指导书。
- 2、预习相关控制理论知识。
- 3、完成相关仿真程序的书面设计。
- 4、有条件的可提前上机练习。

六、实验报告要求

- 1、记录给定系统与显示的波特图。
- 2、完成以上各题要求。

例程序：绘制系统绘制伯德图

首先在 MATLAB 命令窗口编写以下命令或建立 .M 文件运行：

```
num=[100]; %传递函数的分子多项式系数矩阵
```

```
den=[1 0.4 1 ]; %传递函数的分母多项式系数矩阵(去括号)
```

```
G=tf(num,den); %建立传递函数
```

```
margin(G); %绘制伯德图
```

注：程序中，函数为：

$$G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}$$

取： T=0.1

$$\xi = 2$$

实验五 基于 MATLAB 的系统串联校正

一、实验目的

- 1、学习结构图编程，掌握结构图 s 文件的设计方法。
- 2、对于给定的控制系统，设计满足频域性能指标的超前校正装置，并能通过仿真结果验证校正设计的准确性。

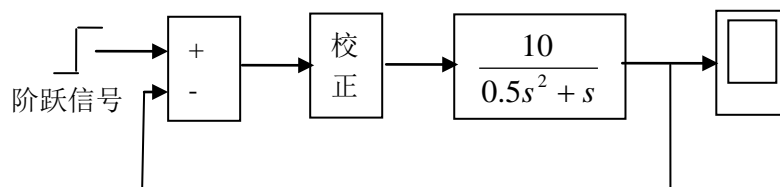
二、实验设备

PC 机，MATLAB 仿真软件。

三、实验内容

被控对象 $G_p(s) = \frac{10}{0.5s^2 + s}$ ，运用串联校正方法，设计控制器，使系统的性能满足要求。

四、实验步骤



- 1、作原系统的 bode 图，求出静态误差系数 K_{v0} ，相位裕度 γ_{c0} 和开环截止频率 ω_{c0} 。

- 2、作时域仿真，求出阶跃响应曲线，记录未校正系统的时域性能 M_p 和 t_s ，并记录下所选择的参数。
- 3、设计超前校正装置 $G_c(s)$ ，实现希望的开环频率特性，即

$$K_v > 20$$

$$\gamma_c > 45^\circ$$

$$\omega_c > 6 \text{ rad/s}$$

- 4、按照超前校正装置 $G_c(s)$ 的参数，修改结构图的校正单元参数，进行新的时域仿真，作出阶跃响应曲线，记录校正后系统的时域性能指标 M_p 和 t_s 。
- 5、通过仿真实验分析该系统是否可采用串联滞后校正策略。

五、预习要求

- 1、仔细阅读实验指导书。
- 2、预习相关控制理论知识。
- 3、完成相关仿真程序的书面设计。
- 4、有条件的可提前上机练习。

六、实验报告要求

- 1、作超前校正装置 $G_c(s)$ 的 bode 图。
- 2、分析超前校正装置的校正作用特点。
- 3、讨论超前校正装置对于阶跃响应过渡时间 t_s 的影响。

实验六 基于 SIMULINK 的系统性能分析

一、实验目的

- 1、熟悉 SIMULINK 环境。
- 2、学习基于 SIMULINK 构建系统的结构图及系统仿真。
- 3、基于 SIMULINK 的系统性能分析。

二、实验设备

PC 机，MATLAB 仿真软件。

三、实验内容

熟悉 SIMULINK 环境；基于 SIMULINK 构建系统的结构图；系统结构图仿真参数的设定和修改。基于 SIMULINK 的系统性能分析；研究反馈校正、复合校正设计。

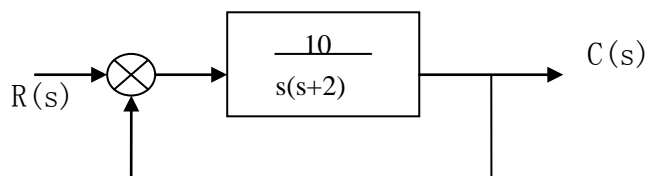
四、实验步骤

- 1、熟悉 SIMULINK 环境。

选中“Start”仿真即开始，仿真启动后，该菜单项即变为“Stop”用于启动后的停止选择。相应的，选项“Restart”用于重新启动，选项“Continue”用于中途停止后的启动，选项“Parameters”用于仿真条件的设置。其他菜单项的用途用户可以查阅联机帮助获得。

- 2、基于 SIMULINK 构建系统的结构图及系统仿真。

控制系统的结构图如下图所示。用结构图仿真方法求系统的阶跃响应。



系统结构图

- (1) 按照结构图程序设计步骤完成结构图。

- (a) 在 MATLAB 平台上键入 SIMULINK 打开 SIMULINK 仿真环境子窗口。
- (b) 在 SIMULINK 仿真环境下，选择菜单 File 中的 New 创建结构图程序，出现一个 Untitled 空白结构图窗口。
- (c) 选择菜单 File 中的 Save as 存储该结构图程序，命名为 Myblock。
- (d) 双击 SIMULINK 仿真环境中的 Sources, 打开仿真信号源模块，将阶跃信号图标 Step 拖入结构图程序 Myblock 的空白处。
- (e) 双击 SIMULINK 仿真环境中的 Sinks, 打开仿真观察器模块，将示波器图标 Scope 拖入结构图程序 Myblock 的空白处。
- (f) 双击 SIMULINK 仿真环境中的 Linear, 打开线性单元模块，分别将求和器图标 Sum 和传递函数图标 Transfer Fcn 拖入结构图程序 Myblock 的空白处。

- (g)用鼠标完成各图标之间的连线。完成后的结构图程序如图 6.14 所示。
- (2) 结构图完成后，设置仿真参数，其步骤如下：
- (h)阶跃信号 Step 图标，设置阶跃信号参数。一般将起始时间设为 0 秒。(缺省值为 1s)
- (i) 双击示波器图标 Scope。设置示波器的显示范围。一般设幅值范围为 2 (2 倍的阶跃信号幅值)，初设观察时间段，如 10s。(缺省值均为 1)
- (j)在程序 myblock 窗口上，选择 Simulation 下拉菜单中的 Parameters，设置仿真参数。
- 选择仿真算法，如 Euler, linsim。
- 确定仿真开始时间。Start time:如 0s。
- 确定仿真结束时间。Stop time:如 10s。一般要与示波器观察时间一致。(缺省值为 999999)
- 最大仿真步长与最小仿真步长。

Mim Step Size: (缺省值为 0.0001)

Max Step Size: (缺省值为 10)

由仿真要求确定，如采用 Linsim (线性系统仿真算法) 法，则可以设为等步长，如分别为 0.01s。

设定仿真精度 Tolerance。(缺省值为 $1e-3$)

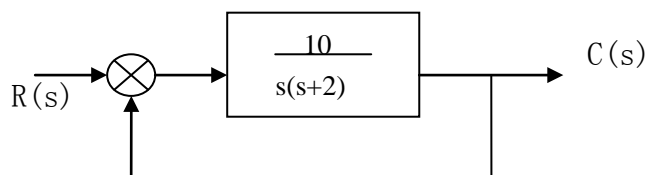
设定返回变量名称。(缺省值无)

完成上述仿真参数设定，保存程序后，即可进行控制系统的仿真了。

- (3) 在程序 myblock 窗口上，选择 Simulation 下拉菜单中的 Start，即启动仿真，双击示波器图标，即可观察到仿真结果，如图 6.15 所示。

3、基于 SIMULINK 的系统性能分析。

- (1) 对以下系统尝试加反馈校正环节，观察仿真结果。



系统结构图

- (2) 对自动控制原理教材中的复合校正进行验证仿真，观察仿真结果。

五、预习要求

- 1、仔细阅读实验指导书。
- 2、预习相关控制理论知识。
- 3、完成相关仿真程序的书面设计。
- 4、有条件的可提前上机练习。

六、实验报告要求

根据实验内容、按照实验步骤进行实验，并按实验记录完成实验报告。

实验七 基于 MATLAB 的系统稳定性分析

一、实验目的

借助于 MATLAB 语言工具，控制系统的稳定性分析采用直接方法，成为异常方便，异常简单的问题。因此，控制理论中经常使用的几种间接分析方法，如劳斯判据，朱利判据等，在 MATLAB 语言中也就不使用了。

本实验主要目的为：

- 1、基于 MATLAB 的时域稳定性分析。
- 2、基于 MATLAB 的频域稳定性分析。

二、实验设备

PC 机，MATLAB 仿真软件。

三、实验内容

- 1、单位反馈系统的开环传递函数为 $\frac{k}{s(s+1)(s+2)}$ ，用时域稳定性分析

方法分别确定 $k=2, k=10$ 时系统的稳定性。

- 2、确定使上述系统稳定的 K 的取值范围。

- 3、单位反馈系统的开环传递函数为 $\frac{k}{s(s+1)(s+2)}$ ，用频域稳定性分析

方法分别确定 $k=2, k=10$ 时系统的稳定性。

四、实验步骤

- 1、控制系统结构图如下图所示，分别确定 $k=2, k=10$ 时系统的稳定性。

```
dz=[0 -1 -2];
```

```
do=poly(dz);
```

```
no1=[2]
```

```
[nc1,dc1]=cloop(no1,do);
```

```
roots(dc1)
```

```
ans=
```

```
-2.5214
```

```
-0.2393+0.8579i
```

```
-0.2393- 0.8579i
```

因此， $k=2$ 时，由于系统的闭环根全部具有负实部，系统是稳定的。

```
no2=[10]
```

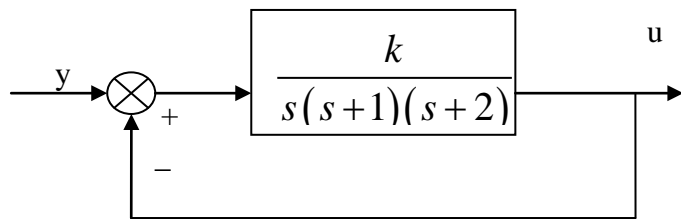
```
[nc2,dc2]=cloop(no2,do);
```

```
roots(dc2)
```

```
ans=
```

```
-3.3089
```

```
0.1545+1.7316i
```



系统结构图

0.1545- 1.7316

因此，当 $k=10$ 时，由于系统有一对共轭复数根的实部为正值，系统不稳定。

- 2、尝试用试凑的方法确定使上述系统稳定的 K 的取值范围。
- 3、对该控制系统，采用频域稳定性分析方法分析其稳定性。

$k=2$ 时系统的稳定性分析：

```
N=[1];
D1=[1 0];
D2=[1 1];
D3=[0.5 1];
D=conv(D1, conv(D 2, D 3));
Margin(N, D) ;
```

$k=10$ 时系统的稳定性分析：

```
N=[5];
D1=[1 0];
D2=[1 1];
D3=[0.5 1];
D=conv(D1, conv(D 2, D 3));
Margin(N, D) ;
```

- 4、用插值函数 `spline` 确定系统稳定的临界增益。

```
[m,p,w]=bode(n,d) ;
wi=spline(p,w,-180)
mi=spline(p,w, wi)
ans=1/mi
```

`ans` 为系统稳定的临界增益。

五、预习要求

- 1、仔细阅读实验指导书。
- 2、预习相关控制理论知识。
- 3、完成相关仿真程序的书面设计。
- 4、有条件的可提前上机练习。

六、实验报告要求

根据实验内容、按照实验步骤进行实验，并按实验记录完成实验报告。