实验3 线性系统的根轨迹分析 —— NI 平台实验报告

一、 实验目的

1. 根据对象的开环传函，做出根轨迹图。

2. 掌握用根轨迹法分析系统的稳定性。

3. 通过实际实验，来验证根轨迹方法。

二、 实验设备

1. PC 机一台

2. NI ELVIS III 一台

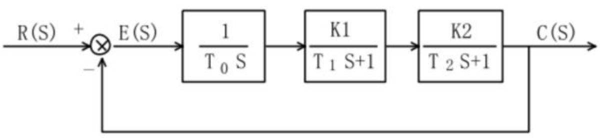
3. “Circuits Control Board - 1”(自动控制原理课程实验套件 1)

4. 导线 6 根

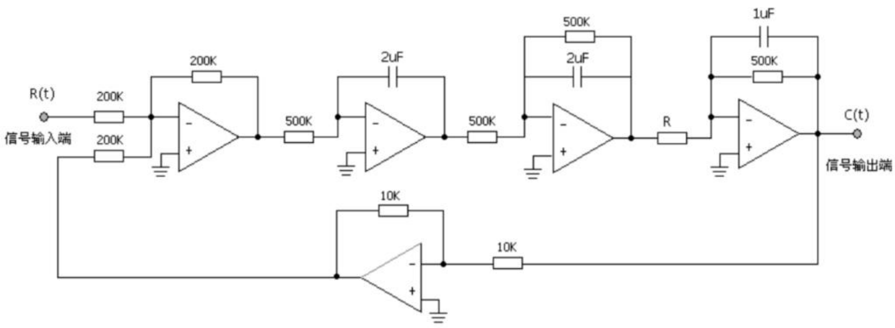
三、 实验原理

（简述实验原理，按步骤画出系统根轨迹，并根据根轨迹分析系统稳定性。）

本实验的方框图：



模拟电路图：



R≥2591kΩ,R=166kΩ,R<166kΩ,166kΩ<R<2591kΩ

开环传递函数：

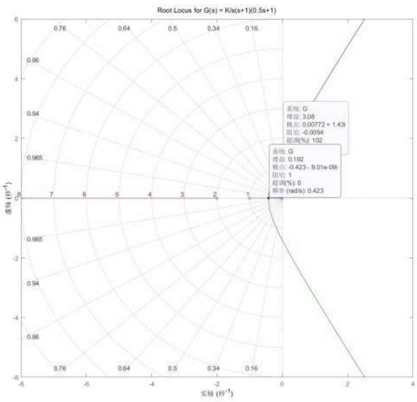
$$\mathrm{G}(s)=\frac{K}{s(s+1)(0.5+1)}$$

其中，系统的开环增益为：

$$K=\frac{500k\Omega}{R}$$

绘制根轨迹：

.m 文件代码	根轨迹图

% 定义传递函数G(s) = K/s(s+1)(0.5s+1)
num = 1;
den = conv([1 0], conv([1 1], [0.5 1]));
G = tf(num, den); % 创建传递函数对象
 	
% 绘制根轨迹
figure;
rlocus(G);
grid on;
title('Root Locus for G(s) = K/s(s+1)(0.5s+1)');
	

1.根据上一步绘制的根轨迹图，结合闭环极点在 s 平面内的位置，分析当开环增益 K 由零变化到无穷大时系统的稳定性。（由于图中取点的精度有限，下面提到的临界值有一定误差）

当开环增益 $0 < K < 2.93$ 时，闭环极点均在左半平面，系统稳定。

当开环增益$K > 2.93$ 时，存在右半平面的闭环极点，系统不稳定。

2.判断系统处于以下状态时 K 和 R 的取值。（结果见下表）

(1) 闭环极点均为负实数。系统为非周期过程。

(2) 闭环极点有一对在虚轴上的根，系统等幅振荡，临界稳定。（实际电路中，由于器件精度有限，很难达到理想状态，所以当 R=R±5%之内时系统等幅，都属于正常情况）。

(3) 两条根轨迹进入 S 右半平面，系统不稳定。

(4) 闭环极点有一对实部为负的共轭复数，系统为衰减振荡过程。

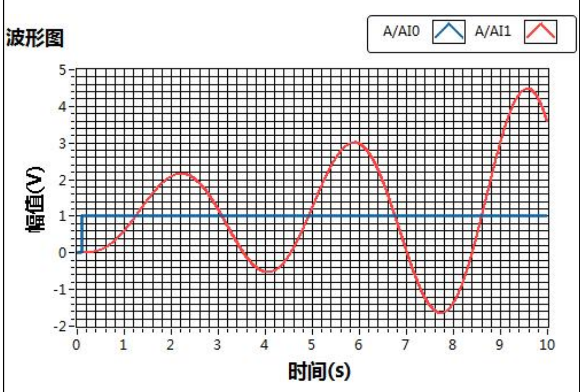
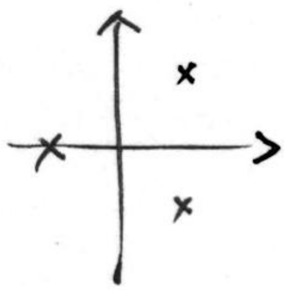
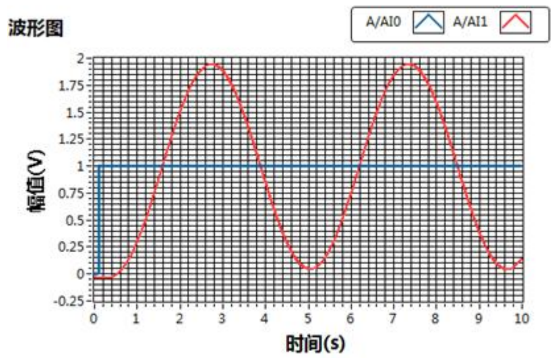
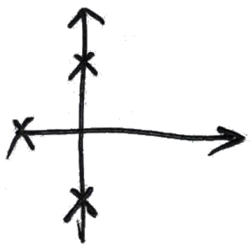
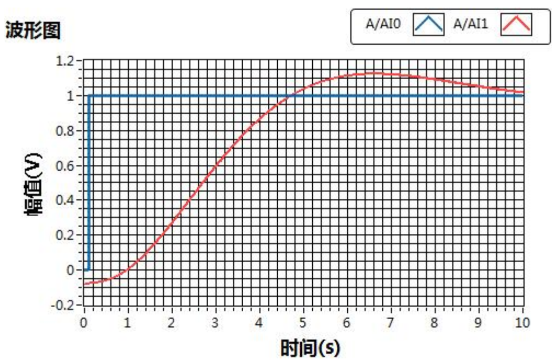
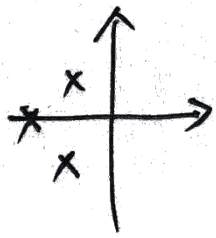
分析：上述分析表明，根轨迹与系统性能紧密相关。通过根轨迹，不仅可以分析闭环系统的动态性能及参数变化对其的影响，还可以根据系统暂态特性的要求确定可调参数，调整开环零点和极点的位置或数量。换句话说，根轨迹法为线性系统的分析与综合提供了一种有效工具。由于根轨迹法采用图解方式求解，直观且简化了高阶系统特征根的计算过程，因此在工程实践中得到了广泛应用。

四、实验数据与结果分析

1. 判断系统处于不同状态时闭环极点在 s 平面上的位置，并计算 K 和 R 的取值范围。

系统响应	闭环极点在根轨迹上的位置	K	R
非周期过程	负实轴	$0<K\le 0.193$	$\ge 2591K$
等幅振荡	虚轴上	3	$166k\Omega$
系统发散	右半平面	>3	$<166K$
系统衰减振荡	~~负~~ 左半平面非实轴处~~振荡~~	$0.193<K<3$	$166k\Omega<R<2591k\Omega$

2. 截取系统处于不同状态时的响应曲线，并画出此时闭环极点在 s 平面上的示意图。

系统状态	响应曲线	闭环极点 s 平面示意图
系统发散 $R = 99.74k\Omega$		
等幅振荡 $R = 165.02k\Omega$ （用万用表测出此时的 R 值）		
衰减振荡 $R = 1088k\Omega$		

实验3 线性系统的根轨迹分析 —— 直流伺服系统平台实验报告

一、实验目的

1. 掌握二阶系统的性能指标同系统闭环极点位置的关系。

2. 掌握由开环零极点的位置确定闭环零极点的位置的方法。

3. 会用 Routh 判据判定闭环系统的稳定性。

二、实验设备

1. GSMT2014 型直流伺服系统控制平台。

2. PC、MATLAB 平台。

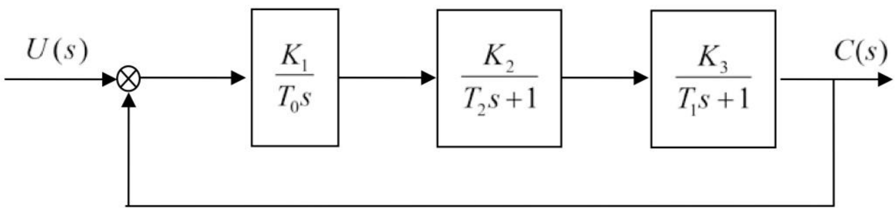
三、实验原理

根轨迹是指当增益 K 从 0 变化到无穷大时，闭环特征根在 s 平面上移动的轨迹曲线。它不仅直观地显示了 K 变化时闭环特征根的变化过程，还揭示了参数变化对闭环特征根在 s 平面上分布的影响。闭环系统的稳定性体现在根轨迹是否越过虚轴进入 s 平面的右半部分。根轨迹与虚轴的交点对应的增益值 K 被称为临界增益。通过根轨迹的分布，可以根据原点附近的根数判断系统的型别，并进一步确定对应的静态误差系数。

直流伺服电机系统的三阶开环传递函数为：

$$G(s)H(s)=\frac{K_1K_2K_3}{T_0s(T_1s+1)(T_2s+1)}=\frac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$$

闭环系统结构图如下：



取参数：$\begin{cases}T_0=1\\T_1=0.12\\T_2=0.052\end{cases}$，则三阶系统的开环传递函数为：

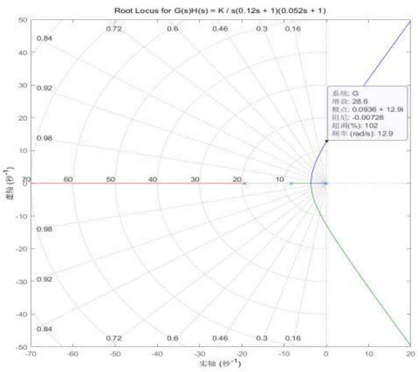
$$G(s)H(s)=\frac{K}{s(0.12s+1)(0.052s+1)}$$

系统特征方程为：$s^3+29.17s^2+166.67s+166.67K=0$

由 Routh 判据得 $0<K<29.17$ 时系统稳定。

绘制根轨迹：

.m 文件代码	根轨迹图

% 定义传递函数 G(s)H(s)
num = 1;
den = conv([1 0], conv([0.12 1], [0.052 1]));
G = tf(num, den);
 	
% 绘制根轨迹
figure;
rlocus(G);
grid on;
title('Root Locus for G(s)H(s) = K / s(0.12s + 1)(0.052s + 1)');
	

四、 实验数据与结果分析

模型仿真

K	$C(t_p)$	$C(\infty)$	$\sigma(\%)$	$t_p(s)$	$t_s(s)$ $\Delta=2\%$	阻尼类型	极点位置
2		1000	0		1.179	过阻尼	负实轴
5	1208	1000	20.8	0.636	1.415	欠阻尼	2个左半平面共轭复根+1个负实轴.
15	1730	1000	73.0	0.372	4.876	欠阻尼	2个左半平面共轭+1个负实轴
25		~~[illegible]~~ ∞	∞			~~[illegible]~~ 负阻尼	~~[illegible]~~ 有一个右半平面极点,

稳定 0<K<29.17

实时控制

1.改变 K 值从图中读值。

K	$C(t_p)$	$C(\infty)$	$\sigma(\%)$	$t_p(s)$	$t_s(s)$	阻尼类型	极点位置
1		2000	0		3.222	过阻尼	负实轴.
5	2466	2000	23.3	0.617	1.429	欠阻尼	2左半平面共轭+1个负实轴.
8	2695	2000.	34.8	0.588	2.267	欠阻尼	一对左半平面共轭复根+1个负实轴
12	2719	2000	35.9	0.597	4.499	欠阻尼	一对左一共轭复根+1个负实轴.

2．寻找无阻尼、临界阻尼时 K 值

阻尼类型	K
无阻尼	16.25
临界阻尼	1.9

五、思考

五、思考

1、实验中阶跃输入信号的幅值范围应该如何考虑？

阶跃信号为系统量程的 0.1 倍左右。太小会导致读数困难，太大会导致系统不稳定。

2、高阶系统的稳定性与哪些参数有关？

与系统的固有特性（极点位置、稳定裕度）、开环增益等均有关。