

图 4 根轨迹

五、实验结论探讨及分析

根据图 4 所示根轨迹图，当开环增益 K 由零变化到无穷大时，可以获得系统的下述性能： $R=500/K$

- (1) 当 $K=3$ ；即 $R=166\text{ K}\Omega$ 时，闭环极点有一对在虚轴上的根，系统等幅振荡，临界稳定。
- (2) 当 $K>3$ ；即 $R<166\text{ K}\Omega$ 时，两条根轨迹进入 S 右半平面，系统不稳定。
- (3) 当 $0<K<3$ ；即 $R>166\text{ K}\Omega$ 时，两条根轨迹进入 S 左半平面，系统稳定。

上述分析表明，根轨迹与系统性能之间有密切的联系。利用根轨迹不仅能够分析闭环系统的动态性能以及参数变化对系统动态性能的影响，而且还可以根据对系统暂态特性的要求确定可变参数和调整开环零、极点位路以及改变它们的个数。这就是说，根轨迹法可用来解决线性系统的分析和综合问题。由于它是一种图解求根的方法，比较直观，避免了求解高阶系统特征根的麻烦，所以，根轨迹在工程实践中获得了广泛的应用。

中南大学

自动化学院本科生

自动控制原理 课程实验报告

班级：智能 2101 姓名：钱兴宇 学号：8207211912 序号：2

预定：2023.5.21 星期 日 节次 下午 5-6 实验：2023.5.16 星期 二 节次 上午 1-2

地点：信息楼 309 台号：2 授课：赵于前 指导：赵于前

实验名称：实验 3.线性系统的根轨迹分析

一、实验原理、目的与要求

1. 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。

2. 原理：

根轨迹法是一种直接由开环传递函数来确定闭环特征根的图解法。所谓根轨迹，也就是指系统开环传函的某一参数变化时，闭环特征根在 S 平面上移动的轨迹。根轨迹法是以系统的传递函数为基础，因此它只适用于线性系统，一般取开环增益 K 为可变参数。

由于根轨迹是根据开环零、极点绘出来的，所以它能指出开环零、极点与系统闭环极点（特征根）之间的关系。利用根轨迹能够分析系统的动态特性，以及参数变化对系统动态响应特性的影响，还可以根据动态特性的要求，确定可变参数。

二、实验仪器设备及软件（标注实验设备名称及设备号）

PC 机一台，TD-ACC+(或 TD-ACS)实验系统一套。

三、实验线路示意图、内容步骤

- 1. 绘制根轨迹图：实验前根据对象传函画出对象的根轨迹图，对其稳定性及暂态性能做出理论上的判断。并确定各种状态下系统开环增益 K 的取值及相应的电阻值 R。
- 2. 将信号源单元的“ST”端 插针与“S”端插针用“短路块”短接。由于每个运放单元均设路了锁零场效应管，所以运放具有锁零功能。将开关设在“方波”档，分别调节调幅和调频电位器，使得“OUT”端输出的方波幅值为 1V，周期为 10s 左右。

注意：实验过程中，由于“ST”端和“S”端短接，运放具有锁零功能。而该对象的响应时间较长，看不全整个响应过程，此时只需在响应过程中将信号源中的“ST”端和“S”端之间的短路块拔掉即可。

- 3. 按模拟电路图 2.1-2 接线，并且要求对系统每个环节进行整定，详见附录一；将 2 中的方波信号加至输入端。

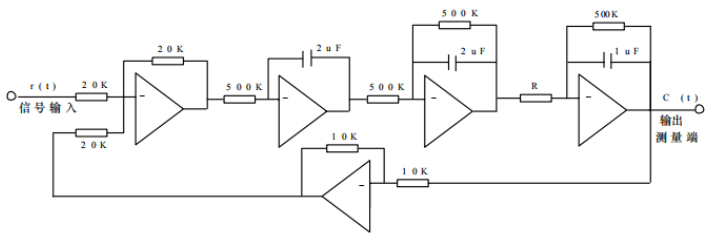


图 2.1-2

- 4. 改变对象的开环增益，即改变电阻 R 的值，用示波器的“CH1”和“CH2”表笔分别测量输入端和输出端，观察对象的时域响应曲线，应该和理论分析吻合。

注意：此次实验中对象须严格整定，否则可能会导致和理论值相差较大。

四、实验数据记录及数据处理

1.实验结果

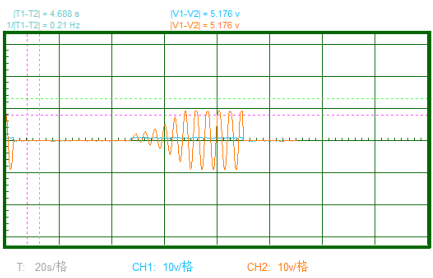


图 1 R=100k

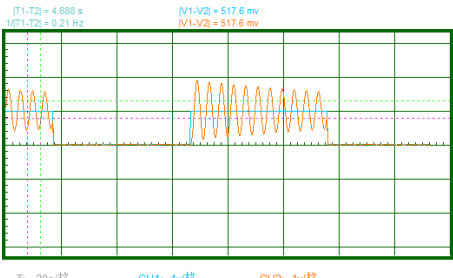


图 2 R=166k

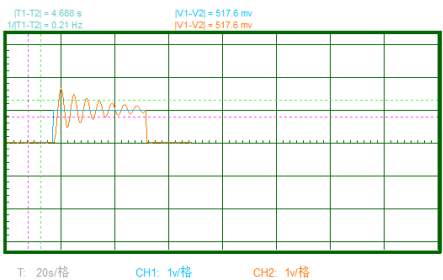


图 3 R=200k

2.根轨迹绘制

- (1) 由开环传递函数分母多项式 $S(S+1)(0.5S+1)$ 中最高阶次 $n=3$ ，故根轨迹分支数为 3。开环有三个极点： $p_1=0$ ， $p_2=-1$ ， $p_3=-2$ 。

- (2) 实轴上的根轨迹：① 起始于 0、-1、-2，其中-2 终止于无穷远处。② 起始于 0 和-1 的两条根轨迹在实轴上相遇后分离，分离点为

$$\frac{d[S(S+1)(0.5S+1)]}{ds} = 1.5S^2 + 3S + 1 = 0 \Rightarrow \begin{cases} S_1 = -0.422 \\ S_2 = -1.578 \end{cases}$$

显然 S_2 不在根轨迹上，所以 S_1 为系统的分离点，将 $S_1=-0.422$ 代入特征方程 $S(S+1)(0.5S+1)+K$ 中，得 $K=0.193$

- (3) 根轨迹与虚轴的交点

将 $S = jW$ 代入特征方程可得： $j(2W-W^3)+2K-3W^2=0$ ，则有 $\begin{cases} 2W-W^3=0 \\ 2K-3W^2=0 \end{cases} \Rightarrow K=3, W=\pm\sqrt{2}$

根据以上计算，将这些数值标在 S 平面上，并连成光滑的粗实线，如下图所示。图上的粗实线就称为该系统的根轨迹。其箭头表示随着 K 值的增加，根轨迹的变化趋势，而标注的数值则代表与特征根位路相应的开环增益 K 的数值。