

自动控制原理实验指导书

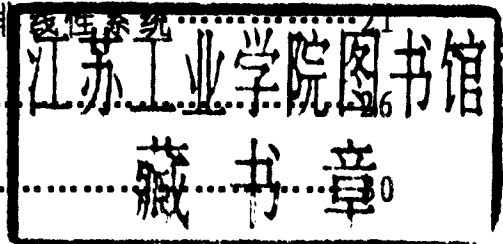
北方工业大学机电工程学院自动化实验中心

2004 年 3 月

目录

实验一	典型环节及其阶跃响应	1
实验二	二阶系统阶跃响应	4
实验三	控制系统的稳定性分析	7
实验四	系统稳态误差分析	9
实验五	控制系统的根轨迹	12
实验六	系统频率特性实验	14
实验七	系统校正	18
实验八	相平面法分析非线性系统	21
实验九	采样系统分析	26
实验十	状态反馈	30

附: Matlab/Simulink 自控原理实验模拟仿真...34



实验一 典型环节及其阶跃响应

一 实验目的

1. 学习构成典型环节的模拟电路，了解电路参数对环节特性的影响。
2. 学习典型环节阶跃响应测量方法，并学会由阶跃响应曲线计算典型环节传递函数。

二 实验内容

搭建下述典型环节的模拟电路，并测量其阶跃响应。

1. 比例 (P) 环节的模拟电路及其传递函数示于图 1-1。

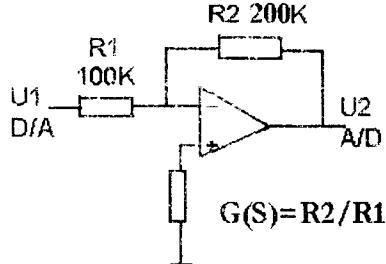


图1-1

2. 惯性 (T) 环节的模拟电路及其传递函数示于图 1-2。

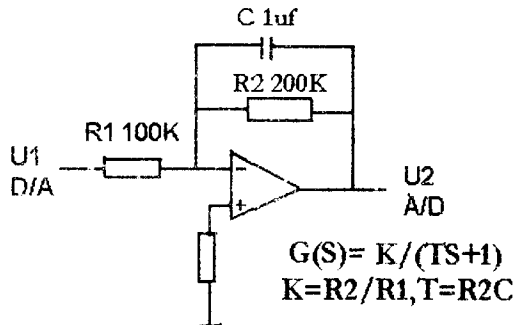


图1-2

3. 积分 (I) 环节的模拟电路及其传递函数示于图 1-3。

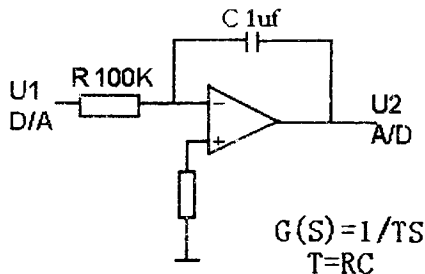


图1-3

4. 比例积分 (PI) 环节的模拟电路及其传递函数示于图 1-4。

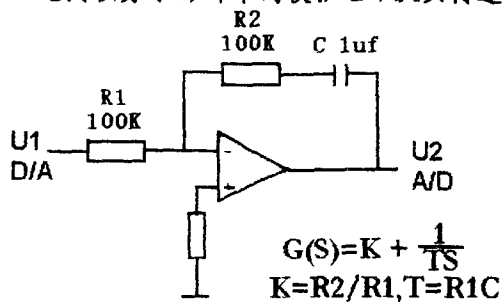


图1-4

5. 比例微分 (PD) 环节的模拟电路及其传递函数示于图 1-5。

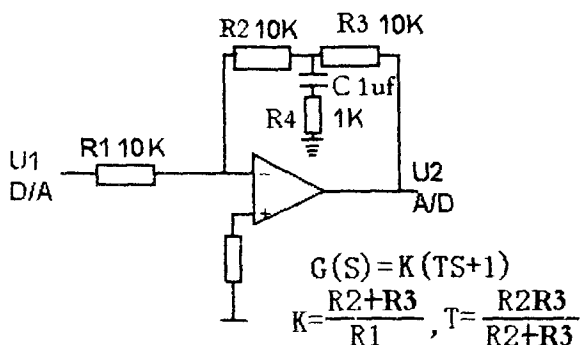


图1-5

6. 比例积分微分 (PID) 环节的模拟电路及其传递函数示于图 1-6。

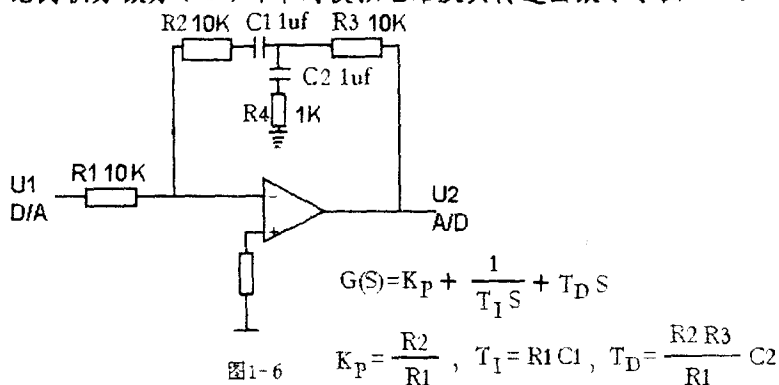


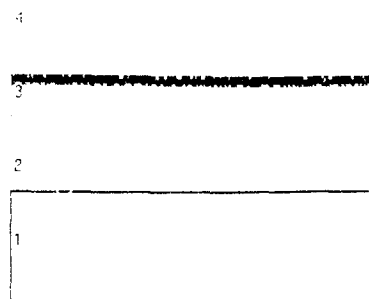
图1-6

三 实验报告

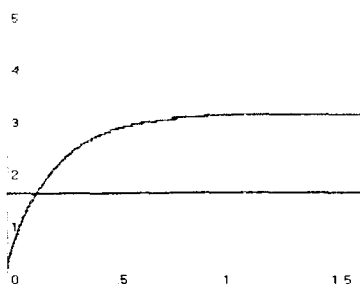
1. 画出惯性环节、积分环节、比例积分环节、比例微分环节、比例积分微分环节的模拟电路图，用坐标纸画出所记录各环节的阶跃响应曲线。
2. 由阶跃响应曲线计算出惯性环节、积分环节的传递函数，并与由电路计算的结果相比较。

附：实验一效果参考图

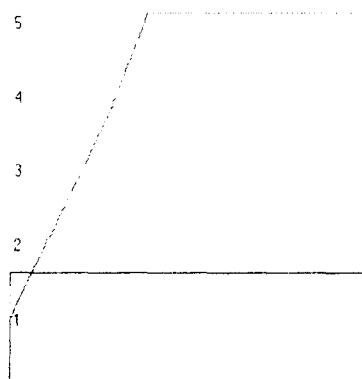
比例环节阶跃响应



惯性环节阶跃响应



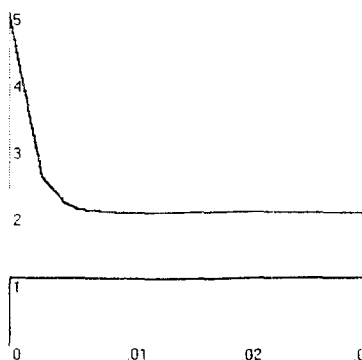
积分环节阶跃响应



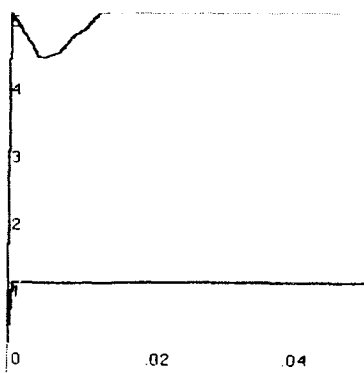
比例积分环节阶跃响应



比例微分环节阶跃响应



比例积分微分环节阶跃响应



实验二 二阶系统阶跃响应

一 实验目的

研究二阶系统的两个重要参数阻尼比 ξ 和无阻尼自然频率 ω_n 对系统动态性能的影响。

二 实验内容

1. 在自控原理实验箱上用运算放大器搭接一个模拟二阶系统，系统结构参数如下：

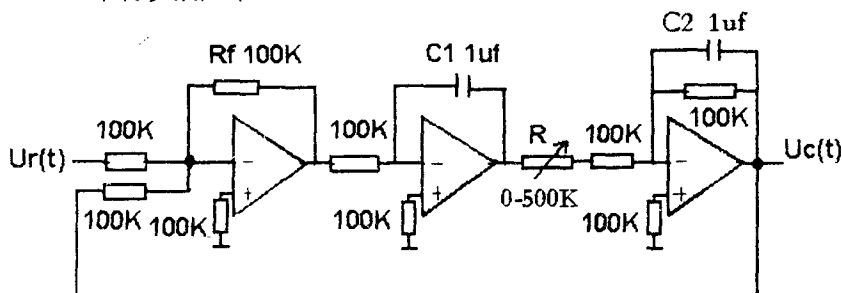


图 2-1

2. 改变系统结构参数（即模拟系统中的 R ），观察不同 R 值对系统动态性能有何影响。记录三种典型动态响应特性曲线（过阻尼、欠阻尼、临界阻尼）及相应的 R 值。
 3. 改变比例环节的 R_f 观察对系统有何影响。
 4. 改变惯性环节的 C_2 观察对系统有何影响。
 5. 对实验结果进行分析，并作出结论。
- 三 模拟系统方框图及传递函数：

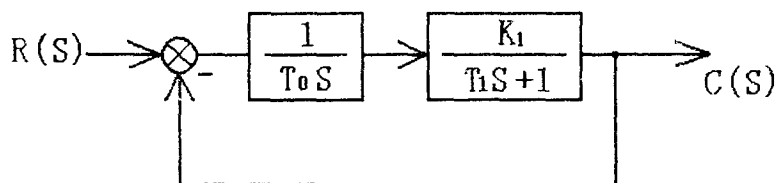


图 2-2

$$\text{开环传递: } G(s) = \frac{K_1}{T_0 S(T_1 S + 1)} = \frac{K}{S(T_1 S + 1)}$$

$$\text{其中: } K = \frac{K_1}{T_0}$$

闭环传函:

$$\Phi(s) = \frac{K}{S(T_1 S + 1) + K} = \frac{K}{T_1 S^2 + S + K}$$
$$= \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2}$$

$$\text{其中: } \omega_n = \sqrt{K/T_1} = \sqrt{K_1/(T_0 T_1)}$$

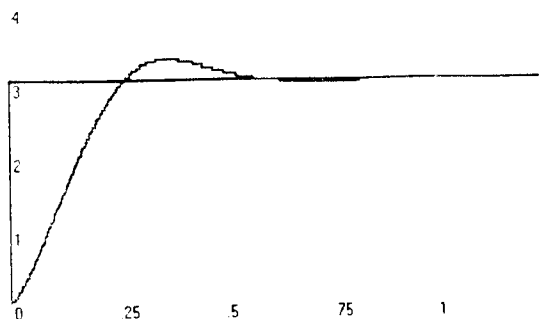
$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{T_0/(K_1 T_1)}$$

四 实验报告要求

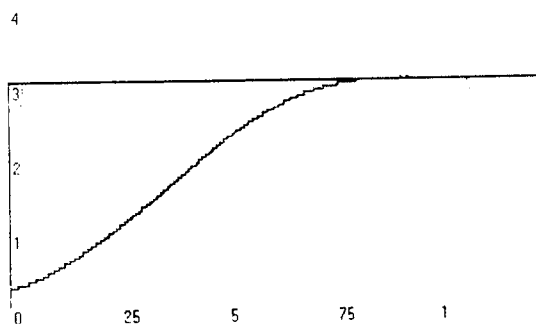
1. 画出实验线路和对应的方框图。
2. 记录实验数据和波形。
3. 实验结果与理论值比较、分析。

附：实验二效果参考图

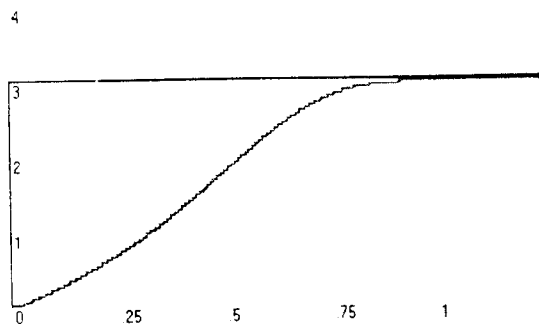
二阶系统欠阻尼阶跃响应



二阶系统临界阻尼阶跃响应



二阶系统过阻尼阶跃响应



实验三 控制系统的稳定性分析

一 实验目的

1. 观察系统的不稳定现象。
2. 研究系统开环增益和时间常数对稳定性的影响。

二 实验电路图

1. 系统模拟电路图示于图 3-1

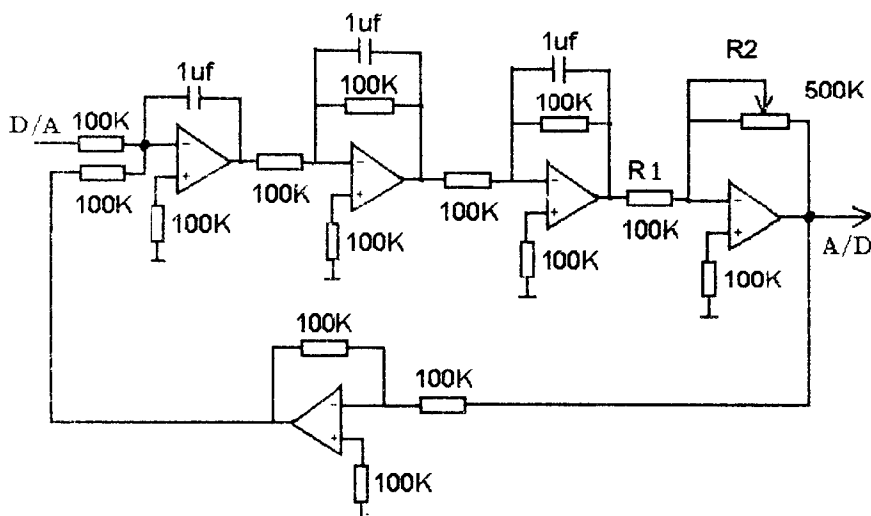


图 3-1

2. 系统结构图为:

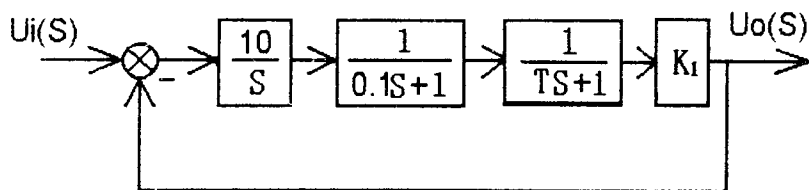


图 3-2

其开环传递函数为:

$$G(s) = \frac{10K_1}{S(0.1S+1)(TS+1)}$$

闭环传递函数为:

$$\Phi(S) = \frac{10K_1}{S(0.1S+1)(TS+1) + 10K_1}$$

式中 $K_1 = R_2/R_1$, $R_1=100K$, $R_2=500K$; $T=RC$, $R=100K$, 分 $C=1\mu f$ 或 $C=0.1\mu f$ 两种情况。

四 实验步骤

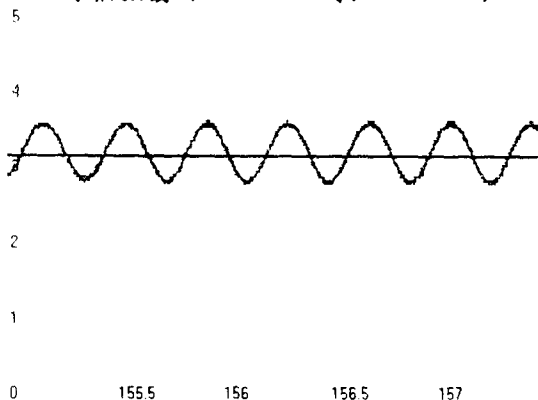
1. 输入信号 $u_1=3V$, $c=1\mu f$, 改变电位器, 使 R_2 从 $0 \rightarrow 500K$ 方向变化, 此时相应 $K=10$, $K_1=0 \sim 100$ 。观察输出波形, 找到系统输出产生增幅振荡时相应的 R_2 及 K 值, 再把电位器电阻由大至小变化, 即 $R_2=500K \rightarrow 0$, 找出系统输出产生等幅振荡时相应的 R_2 及 K 值, 并观察输出波形。
2. 使系统工作在不稳定状态, 即工作在等幅振荡情况, 电容由 $1\mu f$ 变成 $0.1\mu f$, 观察系统稳定性的变化。

五 实验报告

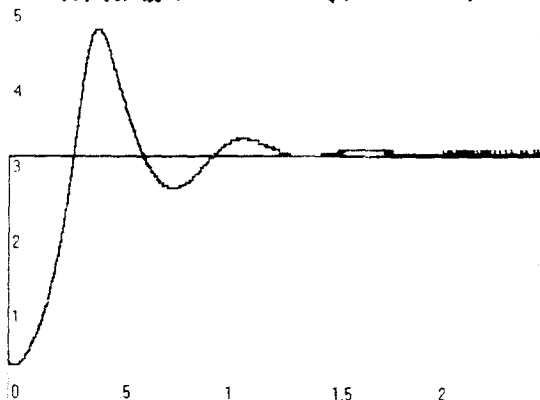
1. 画出模拟电路图。
2. 画出系统增幅或减幅振荡的波形图。
3. 计算系统的临界放大系数, 并与实验中测量得临界放大系数相比较。

附: 实验三效果参考图

等幅振荡 ($T=RC=0.1$ 时, $R_2=190K$)



衰减振荡 ($T=RC=0.01$ 时, $R_2=500K$)



实验四 系统稳态误差分析

一 实验目的

研究开环系统类型、输入信号和稳态误差之间的关系。

二 实验原理线路

1. 0 型系统

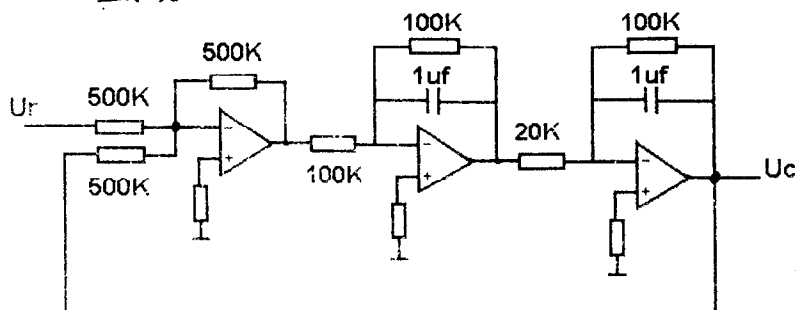


图 4-1

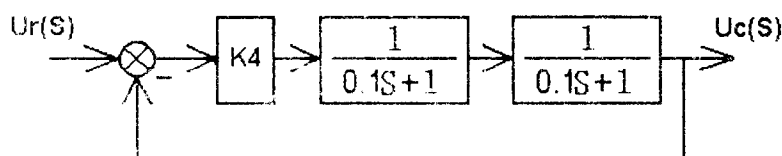


图 4-2

2. I 型系统

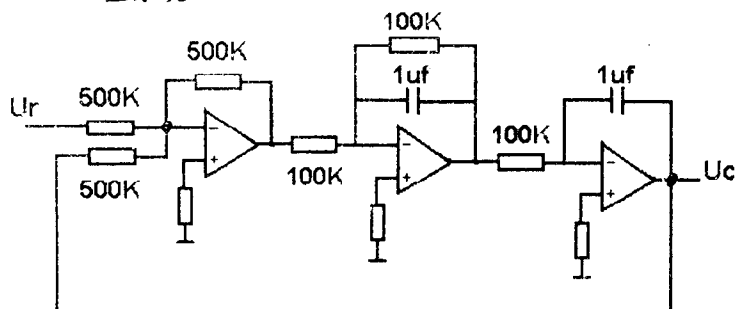


图 4-3

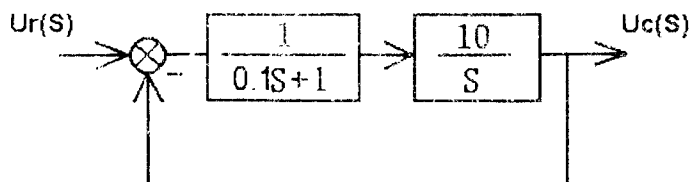


图 4-4

三 实验预习要求

复习有关基本内容,推导出开环系统类型、输入信号与稳态误差的关系。

四 实验内容与步骤

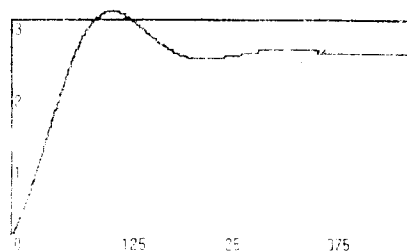
1. 按图 4-1 接线构成 0 型系统,在输入端加阶跃给定信号并测取其静态位置误差,试分析当系统开环放大倍数时(改变 K_4),0 型系统静态位置误差的变化。
2. 按图 4-3 接线,构成 I 型系统,在输入端分别加入阶跃、斜坡信号,测量系统的稳态误差。
3. 分析以上所得数据,与理论计算值 K_p 、 K_v 、 $\varepsilon(\infty)$ 比较作出必要的结论。

五 实验报告要求

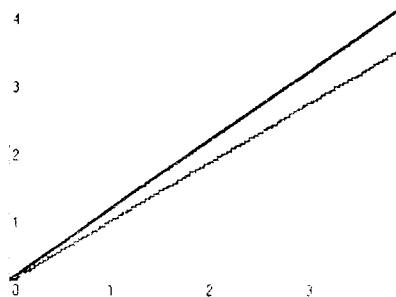
1. 画出实验原理线路及对应的系统方框图。
2. 记录实验数据和结论。
3. 分析实验数据,与理论计算值 K_p 、 K_v 、 $\varepsilon(\infty)$ 比较,作出相应的结论。

附：实验四效果参考图

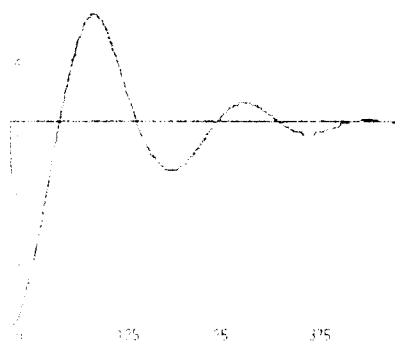
0 型系统阶跃输入



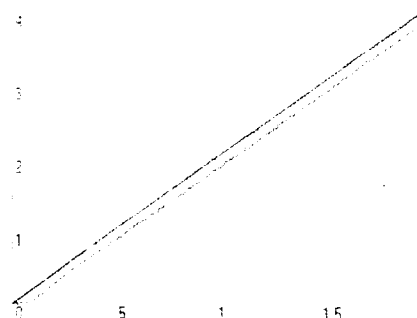
0 型系统斜坡输入



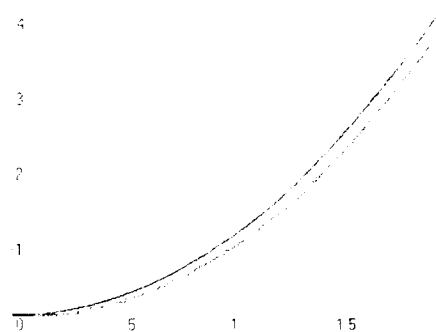
I 型系统阶跃输入



I 型系统斜坡输入



I 型系统加速度输入



实验五 控制系统的根轨迹

一 实验目的

熟悉常见控制系统根轨迹的形状和特点, 了解零极点位置对根轨迹形状的影响。

二 实验要求

1 预先绘制下列系统的根轨迹草图

(1) 二阶系统:

$$G_k(S) = \frac{K_g}{S(S+10)}$$

(2) 带零点的二阶系统:

$$G_k(S) = \frac{K_g(S+4)}{S^2 + 4S + 16}$$

(3) 条件稳定系统:

$$G_k(S) = \frac{K_g(S+6)}{S(S+8)(S+12)(S^2 + 4S + 8)}$$

2 对上述三个系统进行仿真实验。

3 对系统(2)任意增加零极点, 观察并分析增加开环零极点对系统有何影响。

如:

- (1) 增加一个零点, 分别加在不同的位置上;
- (2) 增加两个极点, 在复平面的不同位置上;
- (3) 增加一个零点, 一个极点。

三 操作方法

1 进入 Win98 系统, 点击 ROOT

2 进入 ROOT 主菜单, 选项:

- (1) 画一个新的根轨迹
- (2) 在原系统上增加零、极点
- (3) 计算多项式

3 选(1)时, 画面显示:

- (1) [FEN ZI]: —— (输入分子〈零点〉数)
- (2) [FEN MU]: —— (输入分母〈极点〉数)

显示: (1) 以零极点形式输入仿真系统

(2) 以多项式形式输入仿真系统

请做出选择。输入正确按 Y, 否则为 N, 重新选择。

4 选(1)并按 Y 时, 系统自动提出, 请按提示分别输入极点坐标的实部、虚部; 输入零点坐标的实部、虚部。若零点为 0, 则此处输入常数“1”。k 的最大值选 100, y 坐标的最大值选 15。

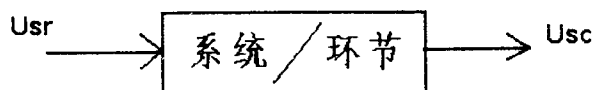
- 5 开始运行仿真程序，并显示仿真系统的根轨迹，当程序停止运行，按↓可继续运行，即 K 增加 100；在运行过程中，SETP 既定值为 0.001，自然增长，有可能出现轨迹无交汇点，此时应注意在程序运行过程中，按↓键，使 STEP 减少，按↑键则增加 STEP，STEP 越大，程序取点越少。描绘出的根轨迹越不好、不光滑或成为折线。
- 6 其他操作，请注意画面提示。

实验六 系统频率特性实验

一 实验目的

学习用李沙育图形法测试系统（或环节）的频率特性，掌握由频率特性曲线求取传递函数的方法。

二 实验原理



$$U_{sr} = A_1 \sin \omega t$$

$$U_{sc} = A_2 \sin[\omega t + \varphi(\omega)]$$

$$W(j\omega) = \frac{U_{sc}}{U_{sr}} = \frac{A_2 \sin[\omega t + \varphi(\omega)]}{A_1 \sin \omega t} = A(\omega) \varphi(\omega)$$

1. 幅频特性

$$A(\omega) = \frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)} = \frac{Y_m(\omega)}{X_m(\omega)} = \frac{2Y_m(\omega)}{2X_m(\omega)}$$

2. 相频特性:

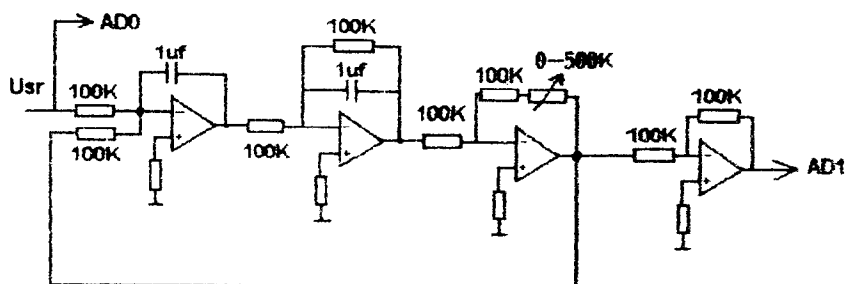
$$\text{当 } \omega t = 0 \text{ 时, } U_{sr}(0) = 0$$

$$U_{sc}(0) = Y(0) = A_2 \sin \varphi(\omega) = Y_m \sin \varphi(\omega)$$

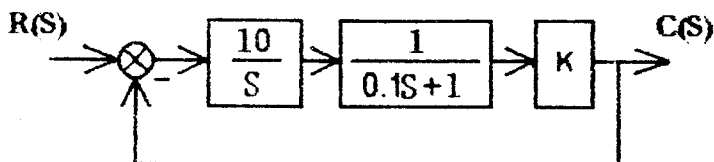
$$\therefore \varphi(\omega) = \sin^{-1} \frac{Y(0)}{Y_m} = -\sin^{-1} \frac{2Y_0}{2Y_m}$$

改变输入信号的频率 f ，可得一组 $\varphi(\omega)$ 和 $A(\omega)$ 。当系统的相频特性是滞后的，即输出 (Y) 滞后于输入 (X)，则李沙育图形光点逆时针运动，超前则顺时针运动。

三 系统模拟电路图

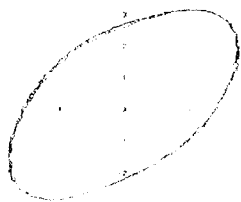


系统模拟电路图

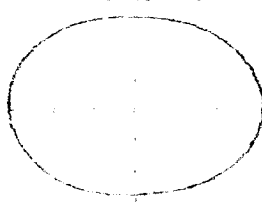


系统结构图

相角范围 $0^\circ \sim -90^\circ$
李沙育图形



相角范围 -90°
李沙育图形



相角范围 $-90^\circ \sim -180^\circ$
李沙育图形

