

实验二 二阶系统阶跃响应特性实验

一、实验目的

1. 学习二阶系统阶跃响应特性测试方法。
2. 了解系统参数对阶跃响应特性的影响。

二、实验设备和仪器

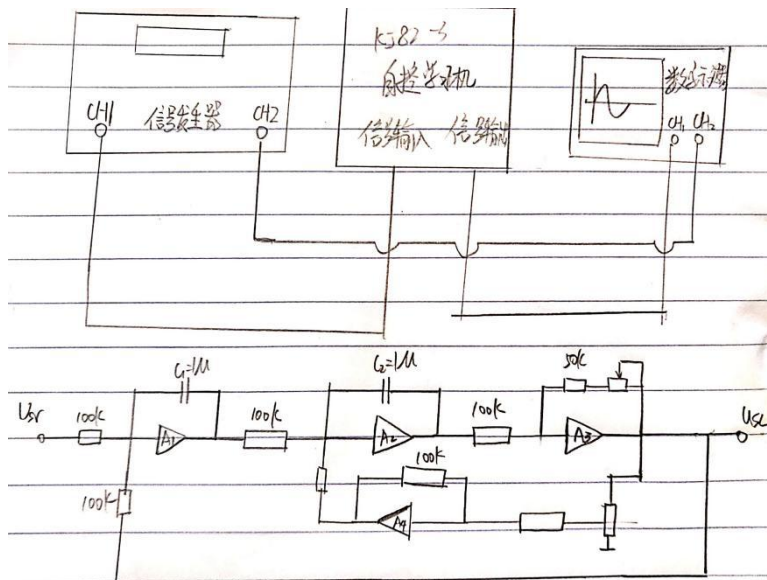
KJ82-3 型控制系统学习机

双通数字存储示波器

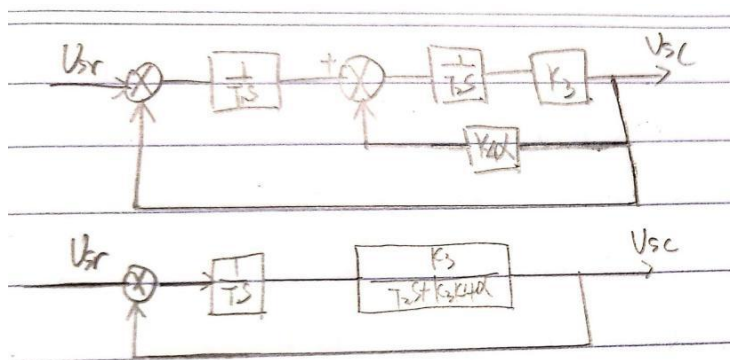
双通道任意波形信号发生器

数字万用表

三、实验系统图和电路图



四、方块图



$$G(S) = \frac{U_{sc}(s)}{U_{sr}(s)} = \frac{K_3}{T_1 S(T_2 S + K_3 K_4 \alpha) + K_3} = \frac{1}{\frac{T_1 T_2 S^2}{K_3} + K_4 \alpha T_1 S + 1} = \frac{1}{T^2 S^2 + 2\xi T S + 1}$$

式中： $T = \sqrt{\frac{T_1 T_2}{K_3}}$ 时间常数； $\omega_n = \frac{1}{T}$ 为无阻尼自然频率；

$\xi = \frac{K_4 \alpha T_1}{2T} = \frac{K_4 \alpha}{2} \sqrt{\frac{T_1 T_2}{K_3}}$ 为阻尼比；

根据 T 及 ξ 的值则依下述公式可求其它参量。

无阻尼自然角频率 $\omega_n = \frac{1}{T}$ ； 无阻尼自然频率 $f = \frac{1}{2\pi T}$ ；

阻尼自然频率 $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$ ； 衰减系数 $\sigma = \omega_n \xi$ ；

超调量 $M_p = e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \times 100\%$ ； 峰值时间 $t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$ ；

调整时间 $t_s = \frac{3}{\sigma}$ ； 阻尼振荡周期 $t_T = \frac{2\pi}{\omega_d}$ ；

上升时间 $t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}$ ； $\beta = \arccos \xi = \arctan \frac{\omega_d}{\sigma}$

五、实验操作过程方法

1. 将各运放接成比例状态（反馈电阻调到最大）仔细调零。
2. 在 KJ82-3 自控学习机信号源中，调整好阶跃信号幅值，建议电压调到 1V 左右。
3. 断开电源按图接线，经检查无误后再闭合电源，按以下步骤进行实验记录：
 - 1) 令 $C_1 = C_2 = 1\mu$ ， $K_4 = 1, K_3 = 10$ ，按表 2-1 所列 α 的变化值逐次改变 α ，记录表内所列各项参数。
 - 2) 当 $C_1 = C_2 = 1\mu$ ， $K_4 = 1, K_3 = 10$ ， $\alpha = 0.13$ 输入阶跃信号，记录 $U_{sc}(t)$ 的瞬态响应曲线，并与理论曲线比较。用表 2-2 记录，并画出瞬态响应曲线，要求在 U-t 图中标出各指标参数的位置即具体数值。
 - 3) 令 $C_1 = C_2 = 1\mu$ ， $K_4 = 1, K_3 = 1$ 观察在相同 ξ 值的情况下， ω_n 变化后，阶跃响应曲线的动态变化。以第二组参数中， $\alpha = 0.13$ 时的 ξ 值，比较两个不同 ω_n 的响应变化。

六、实验数据及其处理

1. 完成表 2-1 中的理论值计算，根据表 2-1 的实验测量值，完成表中的其它参数计算。要求简单说明计算依据，并且分析实验结果，实验误差等。

α		阻尼比	wn	f	wd	sigma	Usc	Mp (%)	tp	tr	ts
0	理论	——	——	5.032921	——	——	——	——	——	——	——
	实验	——	——	4.72	——	——	——	——	——	——	——
0.13	理论	0.205548048	31.62278	5.032921	30.94754	6.5	1	51.69352	101.5135	57.44625	461.5385
	实验	0.168749105	30.75756	4.895218	30.31647	5.190311	5.16	58.4	102	54	578
0.33	理论	0.521775814	31.62278	5.032921	26.97684	16.5	1	14.63857	116.4552	78.57582	181.8182
	实验	0.520947542	33.09619	5.267422	28.25053	17.24138	5.16	14.7	122	78	174
0.44	理论	0.695701085	31.62278	5.032921	22.71563	22	1	4.770973	138.3009	103.0212	136.3636
	实验	0.671551012	26.27806	4.182283	19.47095	17.64706	5.12	5.8	126	99	170
0.63	理论	0.996117463	31.62278	5.032921	2.783882	31.5	1			106	150
	实验	——	——	——	——	——	5.14	——	——	104	144
0.41	理论	0.205	10	1.591549	9.78762	2.05	1	51.78855	320.9762	181.5825	1463.415
	实验	0.198083679	10.37337	1.650972	10.16782	2.054795	5.12	53	350	200	1460

表 2-1

通过上述公式可以由 α 求得其理论值，其中 α 为 0.63 时，为临界阻尼状态。

而在 MATLAB 中可根据临界阻尼响应曲线求得其理论值。

根据表 2-1 的数据计算与比较，可以发现除去 t_s 以外，实验值与理论值基本相近，误差并不是太大，因此实验数据可以验证二阶系统响应特性。

误差表如下：

绝对误差	M_p (%)	t_p	t_r	t_s	β 误差值
	6.7064792	0.4865022	-3.4462533	116.4615385	-0.037463244
	0.0614287	-5.5448322	0.5758246	7.8181818	-0.000970628
	1.0290270	12.3009050	4.0211977	-33.6363636	-0.033095373
	#VALUE!	#VALUE!	2.0000000	6.0000000	0.088148193
	1.2114519	-29.0238342	-18.4175435	3.4146341	-0.007061234
相对误差					
	0.129735393	0.004792488	-0.059990915	0.252333333	-0.0274703
	0.004196357	-0.047613449	0.007328267	0.043	-0.000949859
	0.215684923	0.088943055	0.039032722	-0.246666667	-0.0412969
	#VALUE!	#VALUE!	0.018867925	0.04	1
	0.023392273	-0.090423643	-0.10142799	0.002333333	-0.005175596

而在实验中造成误差的情况可能多种多样，例如：

- 1) 示波器测量偏差。
- 2) 信号发生器的输出存在偏差。
- 3) 人工读数可能存在误差。
- 4) 电子器件参数的误差会造成实验误差+
- 5) 电磁场的干扰

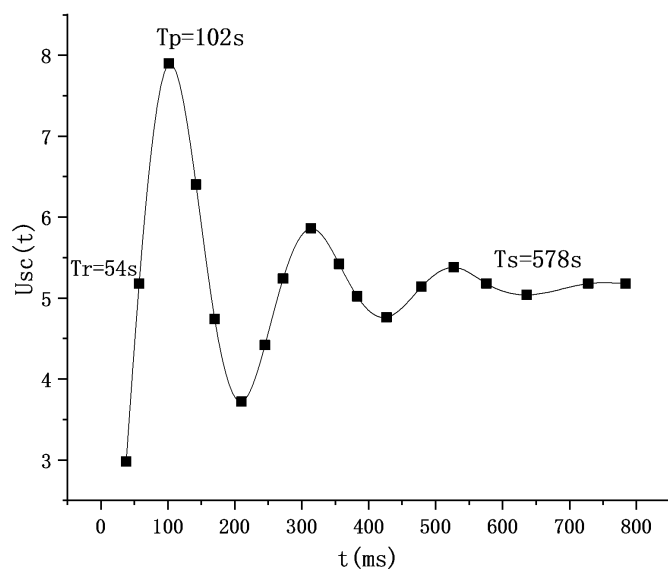
2. 用表格形式列出理论计算传递函数与实验得到的传递函数。

$\alpha = 0.13$	理论 $G(s) = \frac{1}{1.000 \times 10^{-3} s^2 + 0.013s + 1}$
	实验 $G(s) = \frac{1}{1.057 \times 10^{-3} s^2 + 0.01097s + 1}$
$\alpha = 0.33$	理论 $G(s) = \frac{1}{1.000 \times 10^{-3} s^2 + 0.033s + 1}$
	实验 $G(s) = \frac{1}{9.13 \times 10^{-4} s^2 + 0.03148s + 1}$
$\alpha = 0.44$	理论 $G(s) = \frac{1}{1.000 \times 10^{-3} s^2 + 0.044s + 1}$
	实验 $G(s) = \frac{1}{1.448 \times 10^{-3} s^2 + 0.05111s + 1}$
$\alpha = 0.63$	理论 $G(s) = \frac{1}{1.000 \times 10^{-3} s^2 + 0.063s + 1}$
	实验 $G(s) = \frac{1}{2.304 \times 10^{-3} s^2 + 0.096s + 1}$

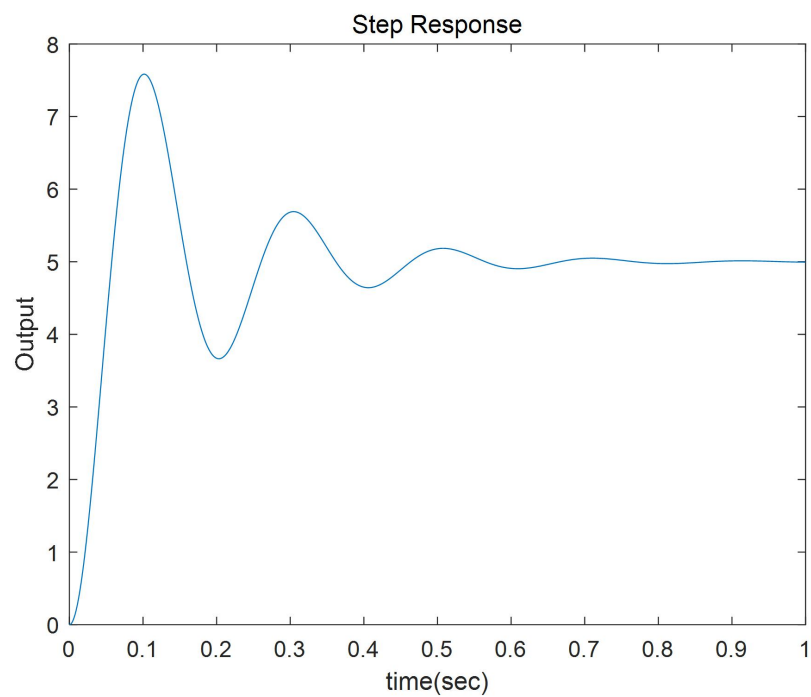
3. 根据表 2 记录。画出瞬态响应曲线，要求在 $U-t$ 图上标出各指标参数的位置及具体数值。并将实验曲线与理论曲线进行比较。

表 2-2

t (ms)	38	57	102	142	170	210	245	272
$U_{sc}(t)$	2.98	5.18	7.9	6.4	4.74	3.72	4.42	5.24
t (ms)	314	356	383	427	479	527	576	636
$U_{sc}(t)$	5.86	5.42	5.02	4.76	5.14	5.38	5.18	5.04
t (ms)	728	784						
$U_{sc}(t)$	5.18	5.18						



瞬态响应曲线:



理论曲线:

可看出，两者相差不大。

4. 结合实验数据进一步从物理意义上分析改变系统参数对 M_p 、 t_p 、 t_s 等系统瞬态响应指标的影响。

根据上述实验，可以发现，对于实验中的系统参数自变量 α ，增加 α 会减小最大超调

量，增大峰值时间和上升时间，但会一定程度上减小调整时间，这说明，增大 α 可以增加系统的稳定性。

同时，由实验数据 1-5 可得相同 ω_n 时， ξ 越大， M_p 越大、 t_p 越大、 t_s 越小

由 2 和 6 可得相同 ξ 时， ω_n 越大， M_p 变化不大、 t_p 越小、 t_s 越小

5. 为满足一般控制系统瞬态响应的性能指标，分析各参量的一般取值范围，并说明理由。

根据实验，取不同值 ξ 时对应的单位阶跃响应的稳定性等特征不同， ξ 越大，系统稳定性越好，超调量越小； ξ 越小，输出响应的震荡越强，震荡频率越高。 $\xi=1$ 时，属于临界稳定值。当 $\xi=0.4-0.8$ ， $M_p=25.4\%-1.5\%$ ， M_p 较小，可认为系统较稳定。

对于 ω_n 而言， ω_n 越大， t_s 越小，系统响应越快，因此理论上来说 ω_n 越大越好，但是还是要结合实际情况和 ξ 来调节。

6. 通过实验总结出测量一个实际系统的阶跃响应的方法。

对于实际系统，由相似系统的知识可知，给予一个方波产生的近似阶跃信号，可得到一个响应曲线，并可使用示波器观察其阶跃响应。如果可以知道此系统是二阶系统，可利用一个二阶电路，寻找一个与之相同的响应曲线，即可通过电路中各参数得到实际系统的完整阶跃响应。