



- 下次实验课内容：7.2.2 控制系统的频域法串联校正设计与实现实验。
- 预习要求：1、观看学习通实验五的**预习视频**。
- 注意：设计电路的时候要考虑饱和失真；设计无源校正的时候要考虑负载效应。

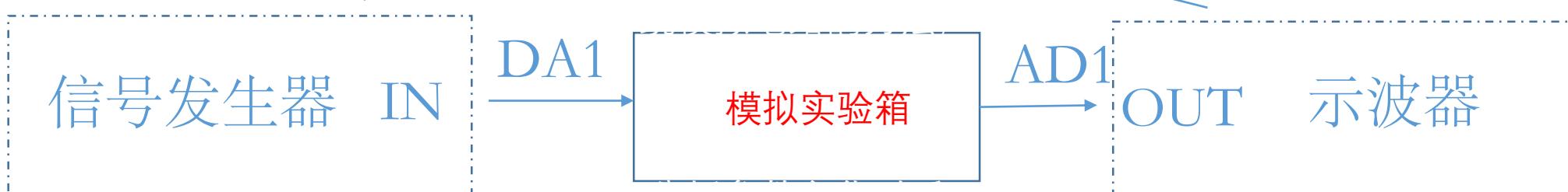
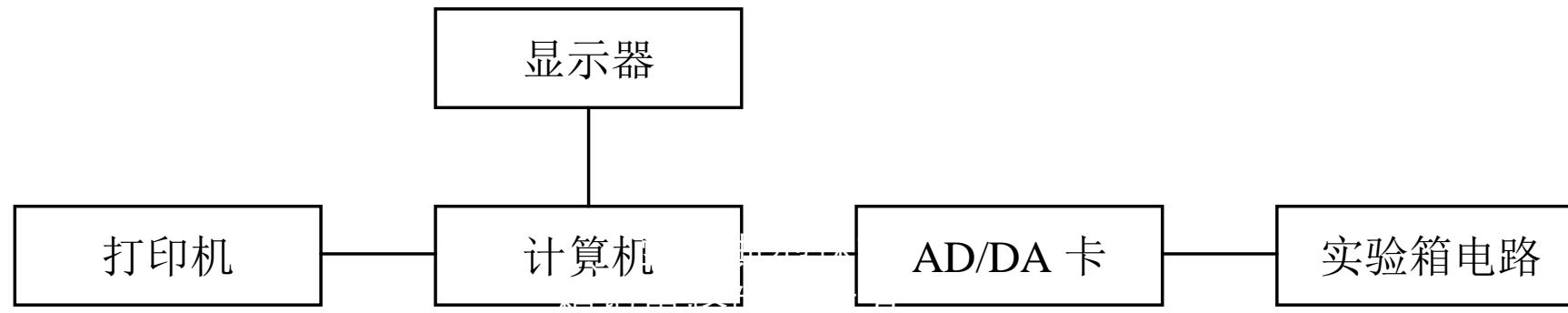


实验五

控制系统的频率特性测试实验

- 1、掌握频率特性的**测试方法**，加深理解频率特性的**物理意义**；
- 2、进一步掌握控制系统的**模拟电路搭建方法**；
- 3、了解二阶系统的频域指标与时域指标的**对应关系**。

实验仪器连接原理



实验箱与电脑的连接

- **1) 电源线**

用电源线将实验箱后侧板处的电源线插孔与实验桌的电源接线板连接。

- **2) 数据线 (USB线)**

用实验箱自带的USB线将实验箱后侧板处的USB口与计算机的USB口连接。

校零工具

- 将实验箱后侧板处的开关置于ON，接通电源，将与所需使用的通道所对应的输入/输出端口：AD1，DA1用导线相互连接或AD2，DA2用导线相互连接，点击 校零工具进行校零，出现左图对话框，点击相应的通道开始自动校零程序。

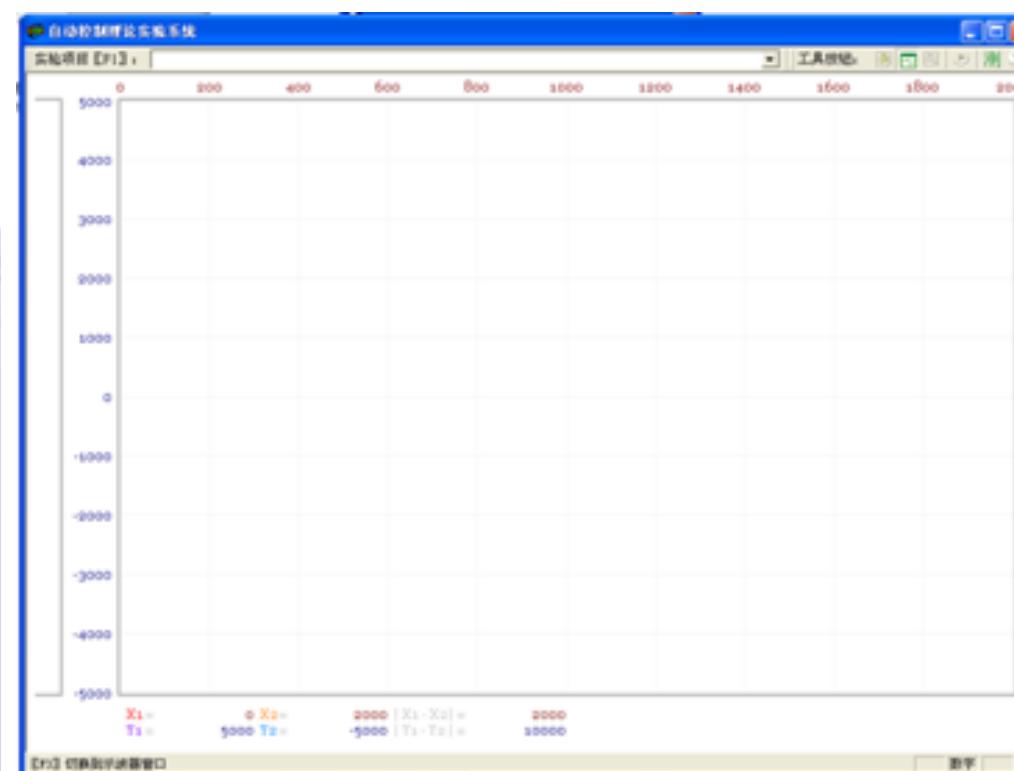
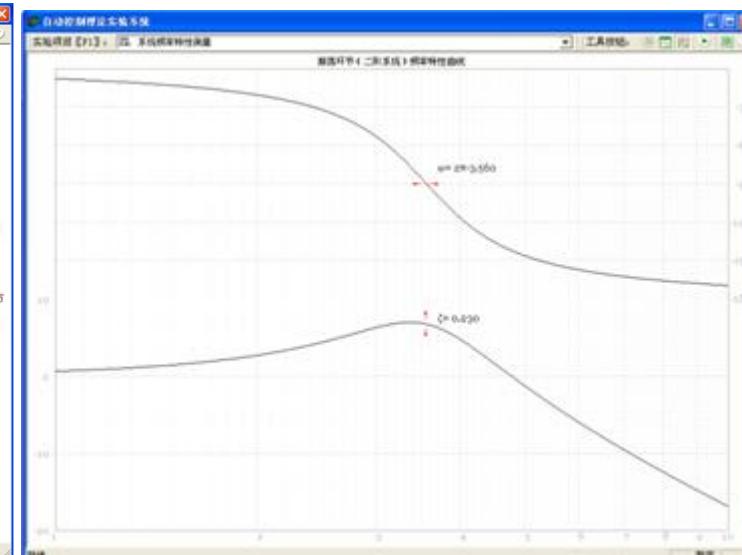


- 如右图表示，当进程显示满格时，即表示通道1的校零已经完成，点击关闭，即结束校零程序，关闭实验箱电源。



“自动控制理论实验系统”软件

- 本套软件界面共分为三个主窗口：
- a. “软件说明和实验指导书”窗口
- b. “示波器”窗口
- c. “频率特性”窗口



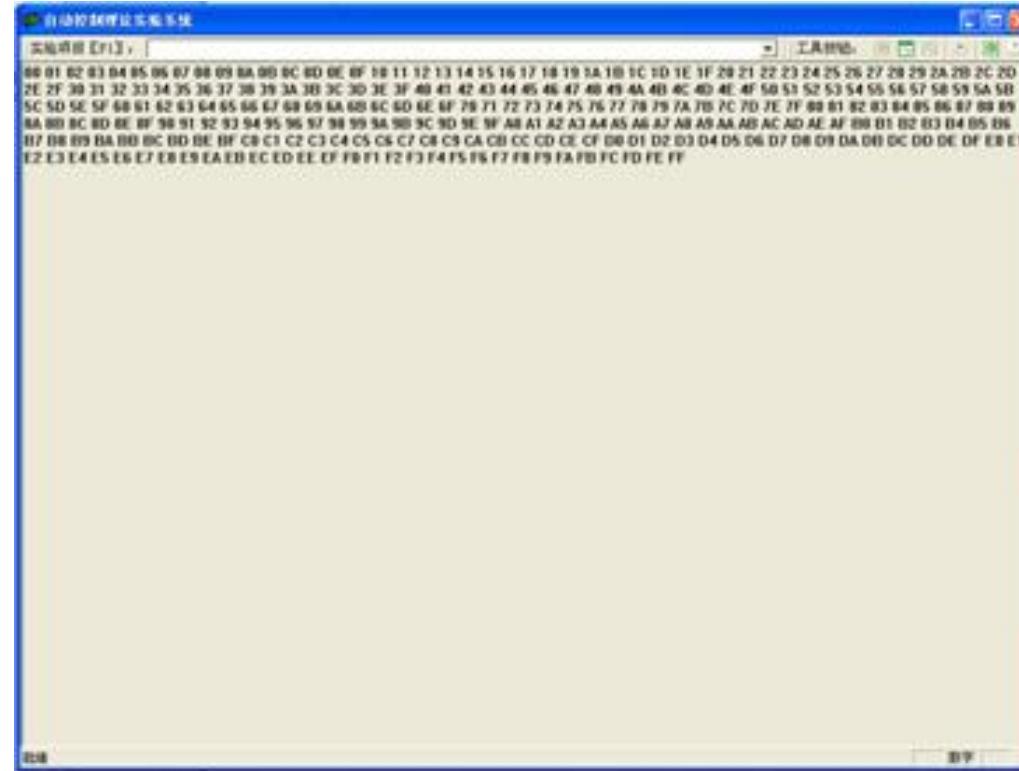
a

c

b

通讯测试

- 点击 按钮，如果出现下图所示，表示通讯正常，可以开始实验。若通信不正常，查找原因，使通信正常后，才可以继续进行实验。

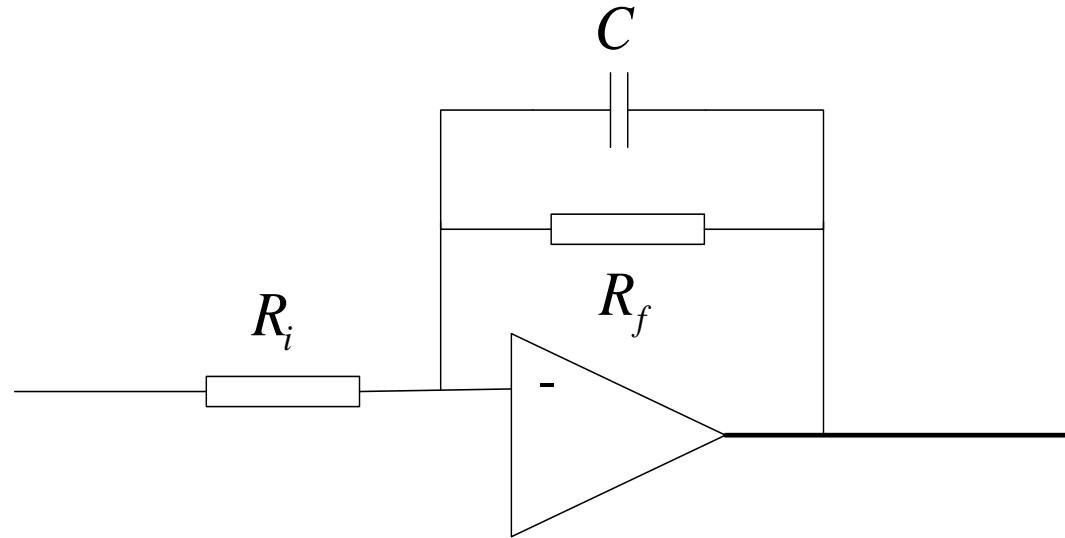




如何打印

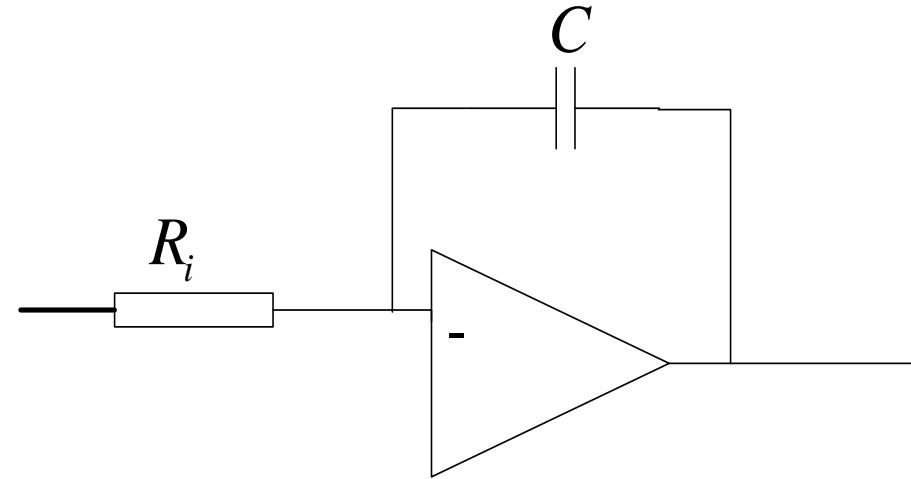
- 点击“快照”后，新建一个Word文档，直接粘贴，然后打印，即可出图。

模拟电路的搭建（一阶惯性环节）



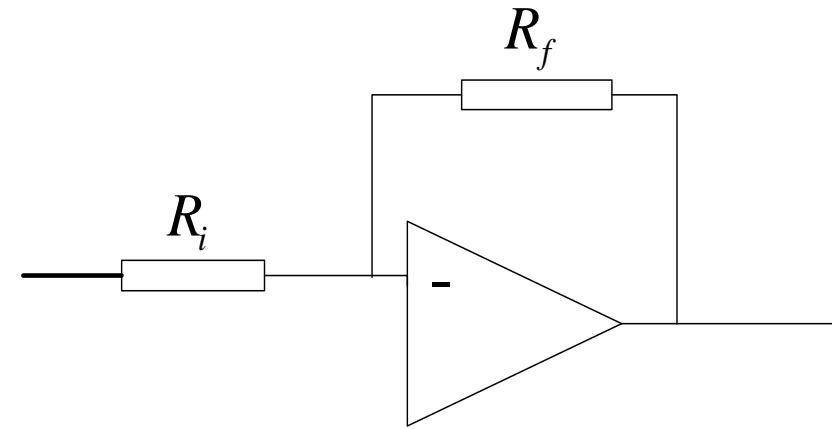
$$G_f(s) = \frac{K}{1 + TS}; K = R_f / R_i; T = C \times R_f$$

模拟电路的搭建 (积分器)



$$G_i(s) = \frac{1}{Ts}; T = C \times R_i$$

模拟电路的搭建 (比例环节)



$$G_p(s) = K; K = \frac{R_f}{R_i}$$

控制系统的频率特性反映正弦信号作用下的系统响应的性能。对于稳定的线性定常系统，由正弦信号 $r(t) = U_i \sin(\omega t)$ 作为输入产生的稳态输出也是正弦信号，且输出信号的频率与输入信号的频率相同，而幅值和相角的变化是该频率 ω 的函数。定义输出信号与输入信号的幅值之比为系统的幅频特性 $A(\omega)$ ，相位之差 $\varphi(\omega)$ 为系统的相频特性，其指数表达式：

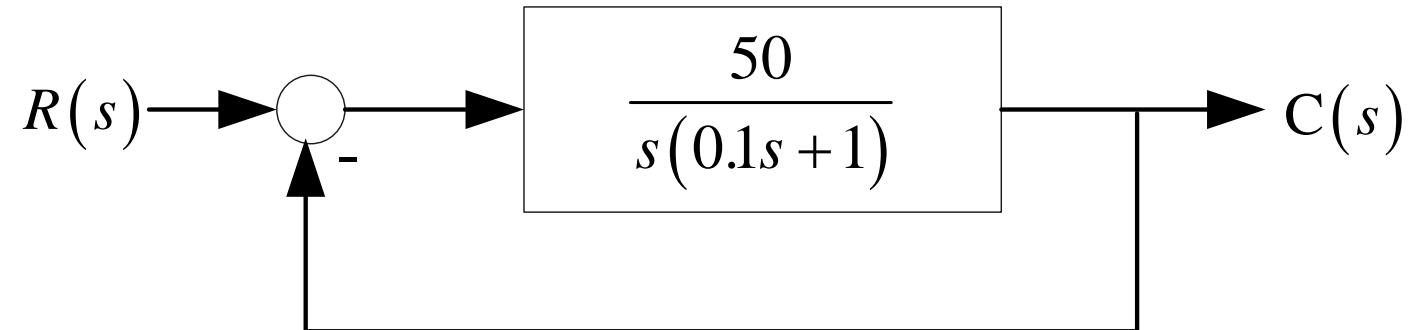
$$\Phi(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

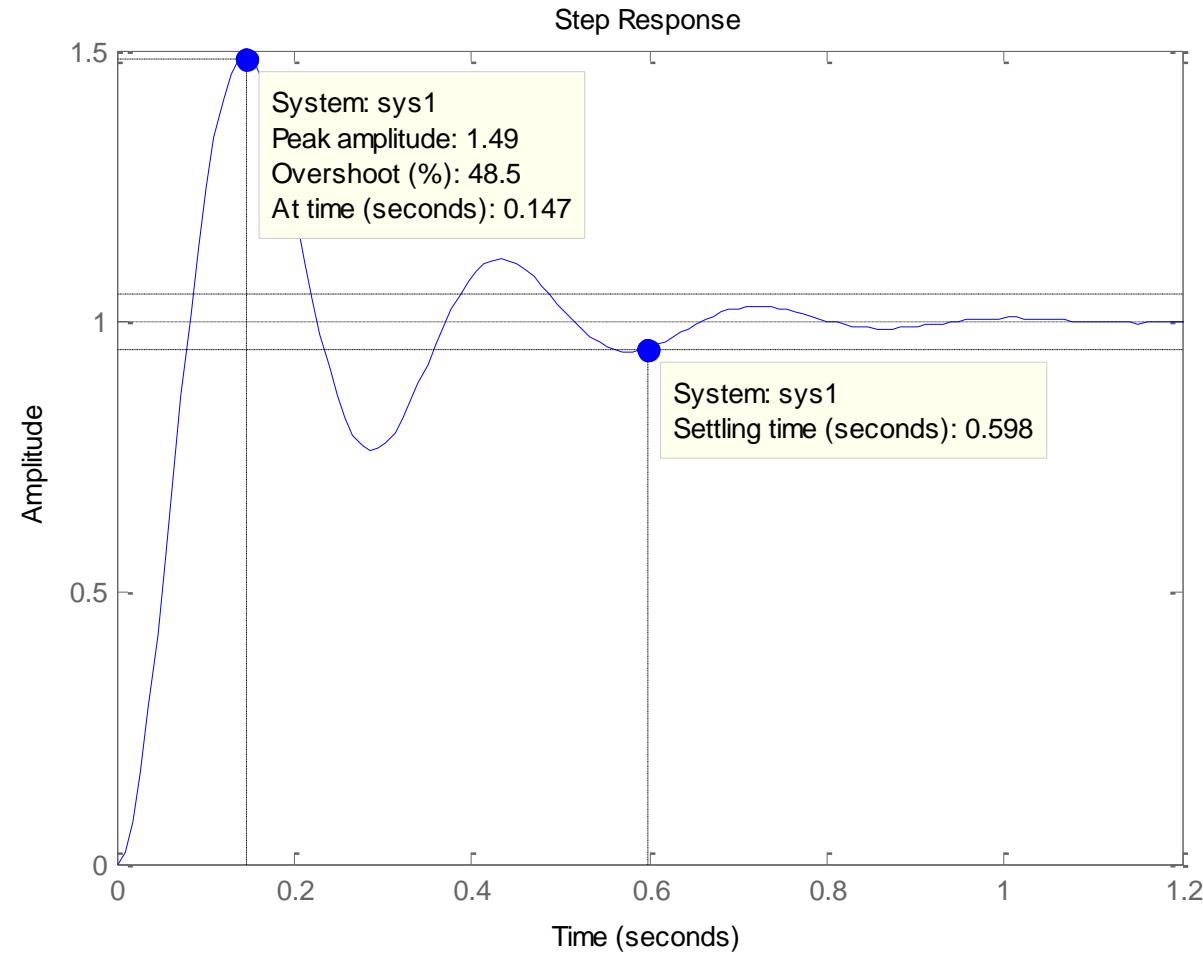
为系统的频率特性。

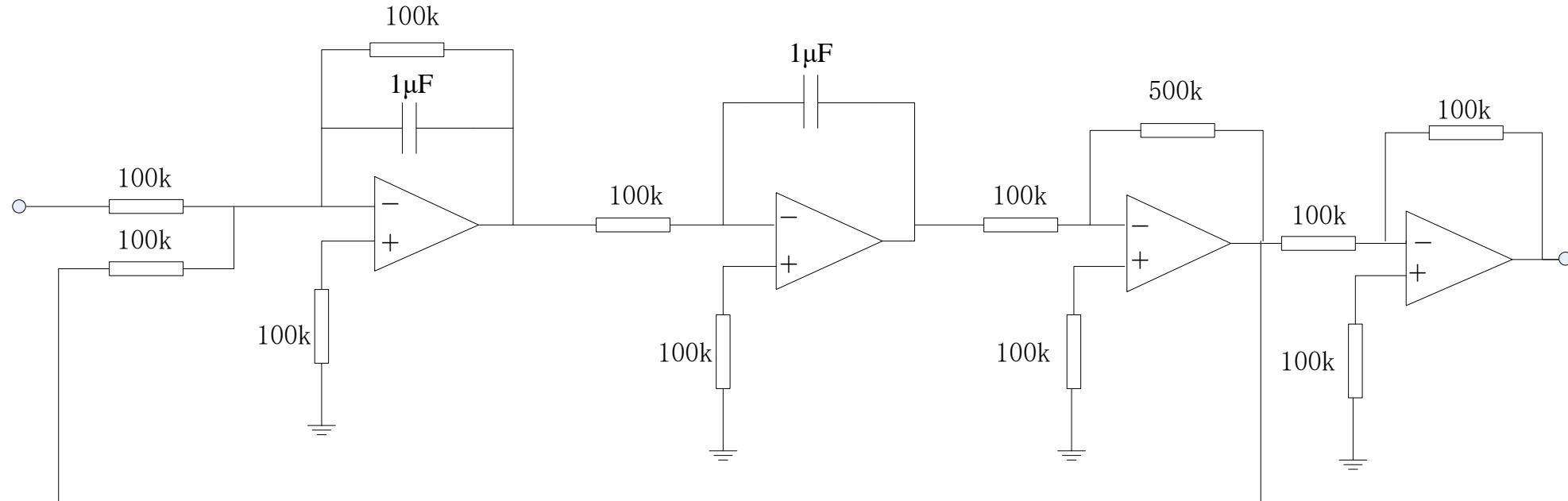
频率特性实验测定法原理如下图所示，连接好被测系统，选择合适幅值的正弦信号，以保证系统工作在线性工作区，不会出现饱和现象。保持该正弦信号的幅值不变，只改变该正弦信号的频率，由低频到高频，依次记录与各频率点对应的系统的稳态输出波形。计算输出与输入信号的幅值比和相位差，绘制系统的对数频率特性曲线，从而得出被测系统的频率特性。



欠阻尼二阶系统如图所示，该系统的开环传递函数为 $G(s) = \frac{50}{s(0.1s+1)}$ 。









- 1、根据系统框图，设计并搭建系统的模拟电路。
- 2、测试该系统的时域特性：记录阶跃响应曲线，完成表7.1-1。

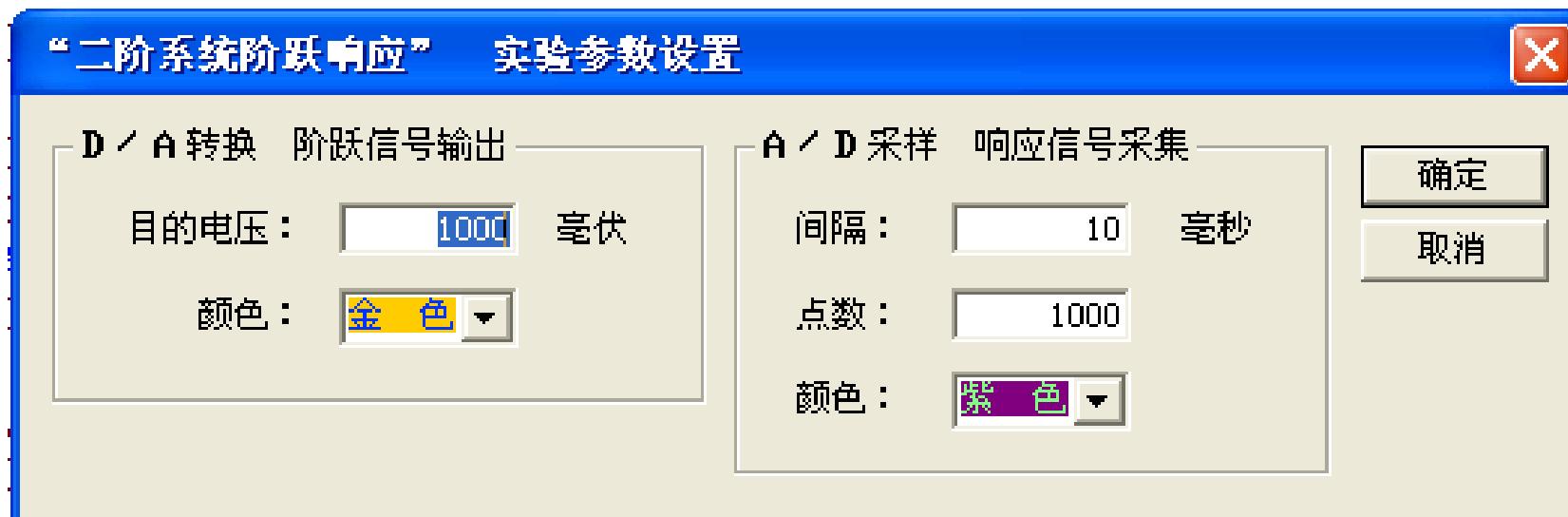
表 7.1-1 系统时域特性数据表

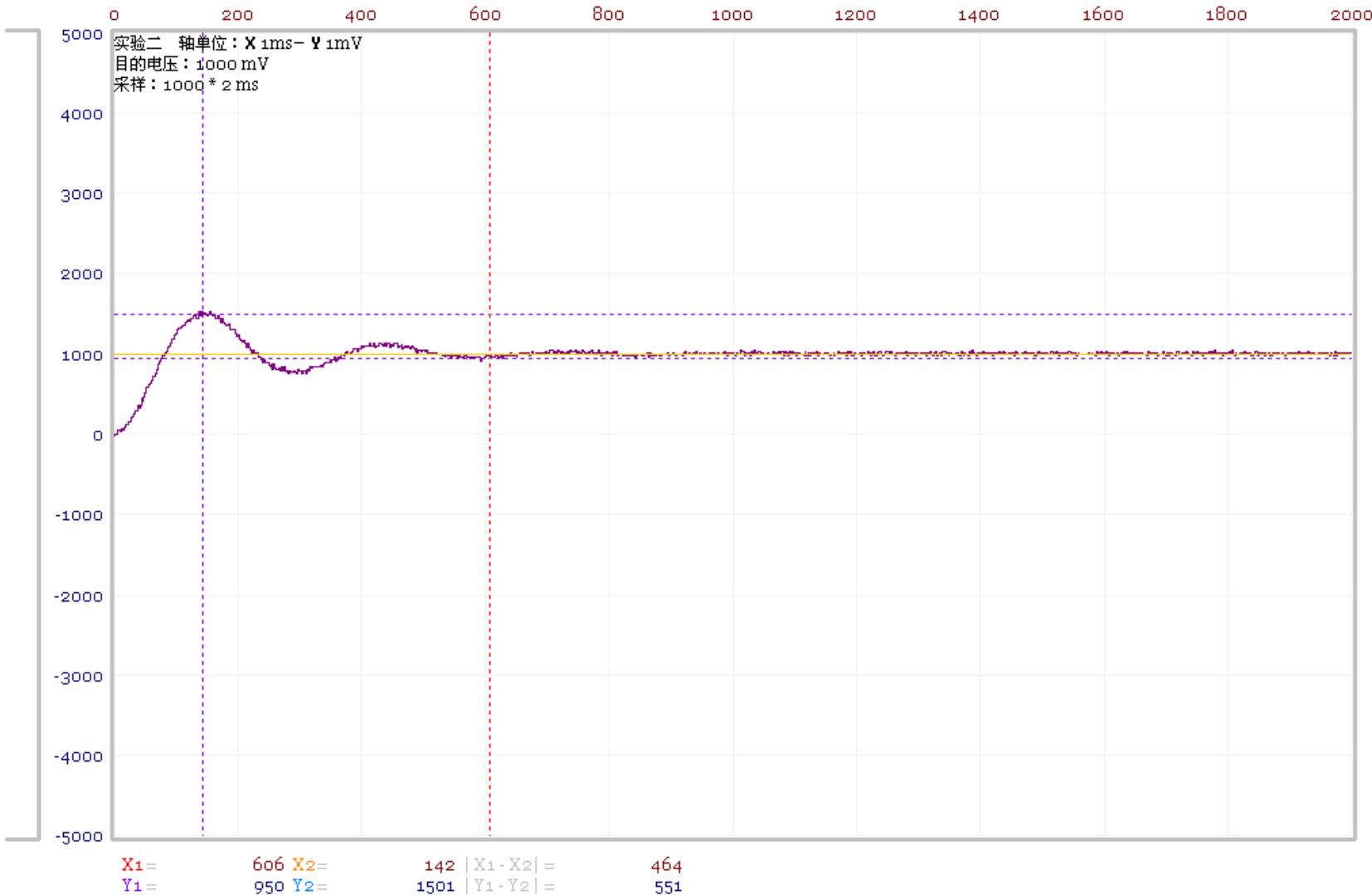
$$\Phi(s) =$$

ω_n	ζ	理论值			实验值		
		t_s (秒)	t_p (秒)	$\sigma\%$	t'_s (秒)	t'_p (秒)	$\sigma'\%$



- 点击实验项目的下拉菜单按钮 选择实验项目“二、二阶系统阶跃响应”，点击菜单栏的 按钮，设置实验参数，即输入信号的目的电压、响应信号采集的间隔和点数。记录系统阶跃响应曲线，测量并计算性能指标。

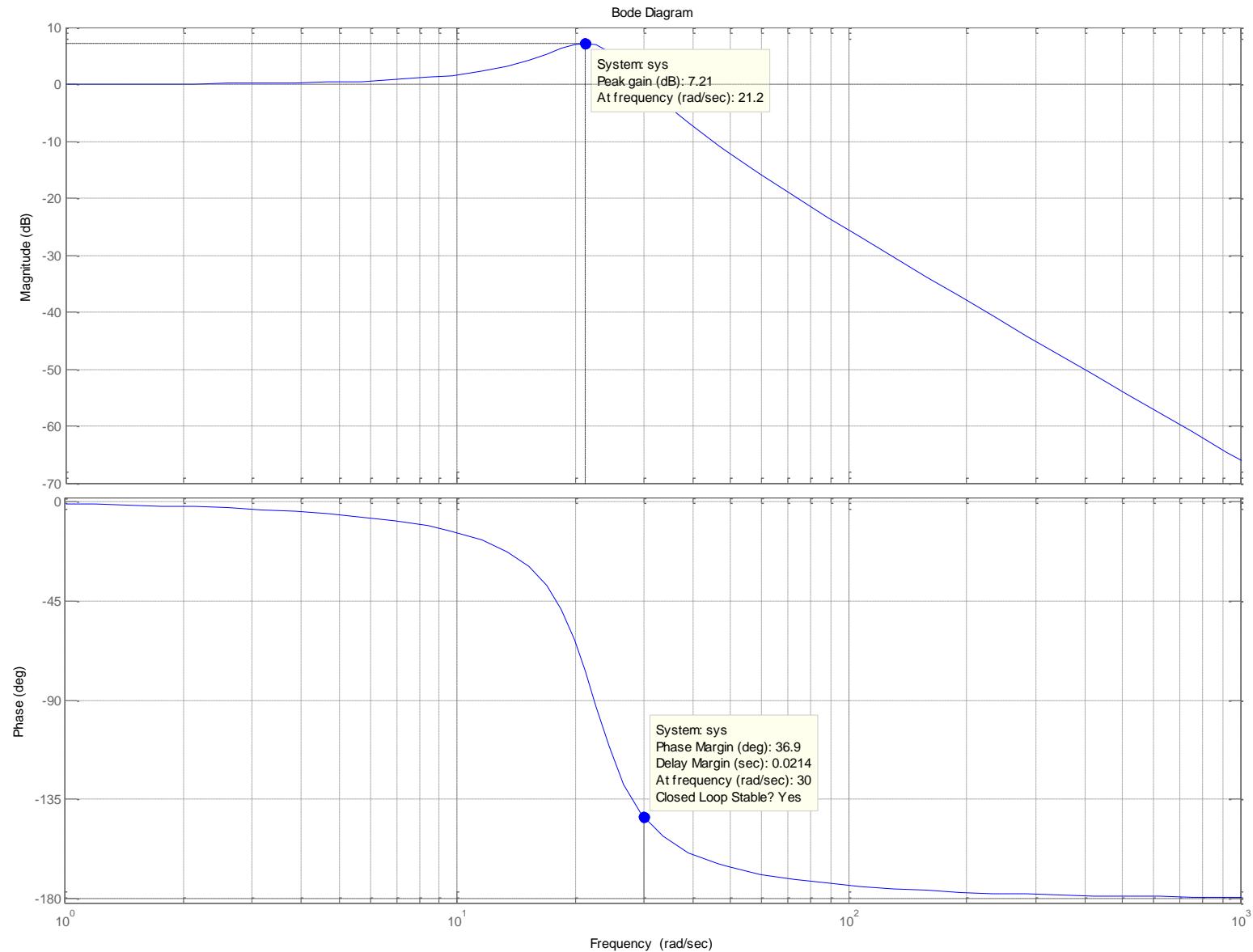






3、测试该系统的频域特性：设计 10-15个频率测试点，利用信号发生器依次产生 10-15 个频率不同、幅值相同的正弦信号作用于被测系统，分别测量在不同频率下被测系统的稳态输出，填写表 7.1-2。

其中 X_{p-p} 为输入信号的峰峰值 Y_{p-p} 为输出信号的峰峰值 Δt 为输出与输入信号之间的相角时间 差。





在实验测定中，因为时间有限，只能要求仅仅通过几个有限频率点（本实验中选取十个）的测试，了解系统的大致特性。若要使所测得的频率特性比较准确，那么频率点的选取就是关键。因为实验内容所给定的系统的频率特性是低通的，通常选取 ω_n 作为测试的起始频率点，以保证起始测试点的频率足够低，能够代表系统的低频特性。其它频率测试点的选取要依据系统的转折频率、谐振频率、以及带宽频率等，在低频段、中频段及高频段分别取点。注意为了捕捉到中频段出现的转折频率、谐振峰值等信息，需要在该频段密集取点，进行测量。

- 1、选取10-15个频率点；
- 2、起点选择 $0.1\omega_n$ rad/s, 终点选择一个略大于带宽的频率点；
- 3、将波特图分为低频段、中频段和高频段。
- 4、为了准确定位谐振频率点，**中频段取点应较密集**。
- 5、低频段 $L(\omega)$ 变化不大，高频段只需确定衰减斜率，因此这两个频段取值可以较稀。
- 6、最终通过选取的10-15个频率点拟合出来的波特图应最大限度地与理论波特图相重合。



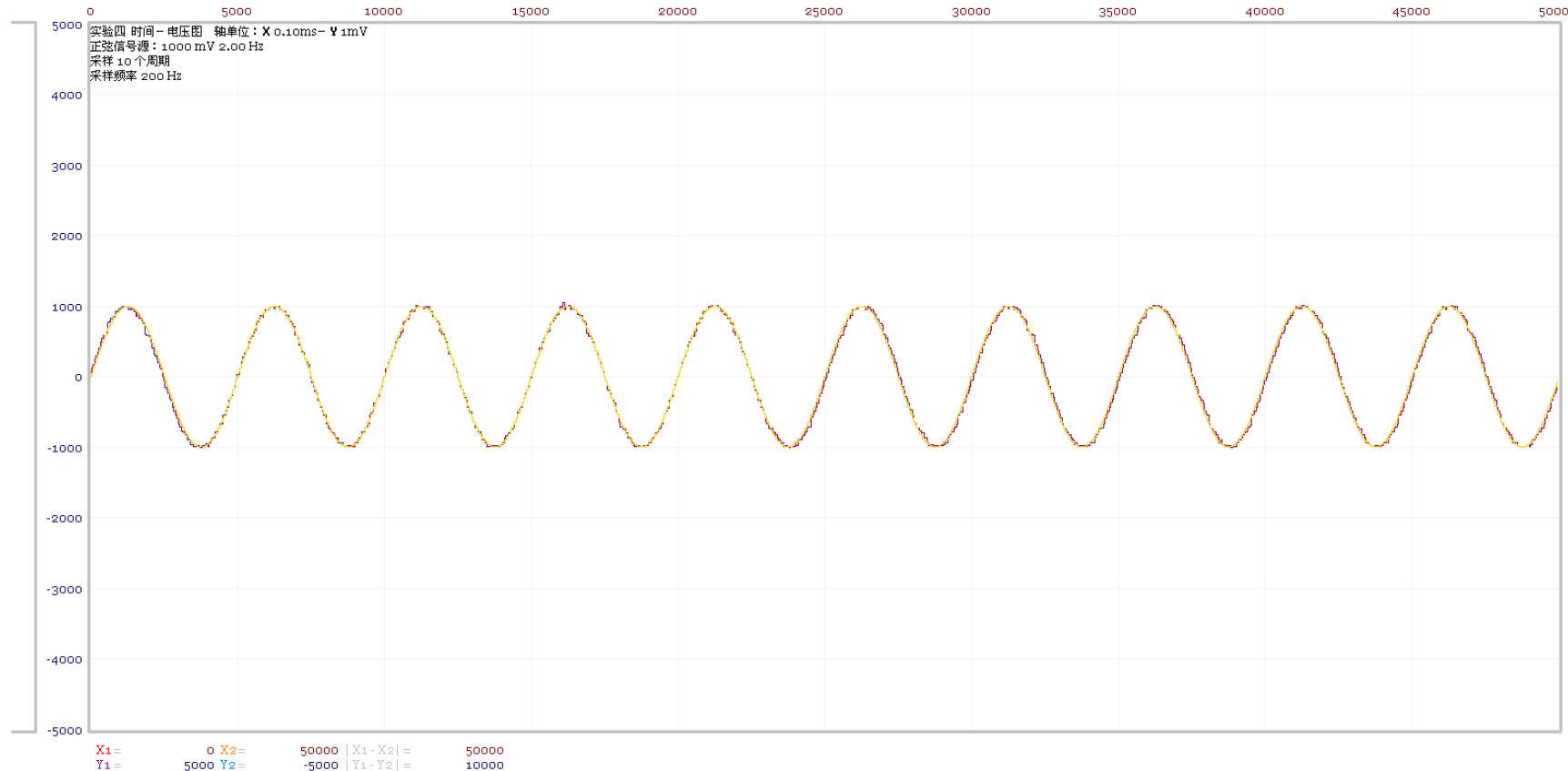
- 1、本实验中，是测试系统的**闭环**频域特性；
- 2、闭环频域指标为：谐振峰值**Mr**、谐振频率**Wr**和带宽**Wb**。
- 3、闭环频域指标与开环频域指标以及时域指标之间的关系。

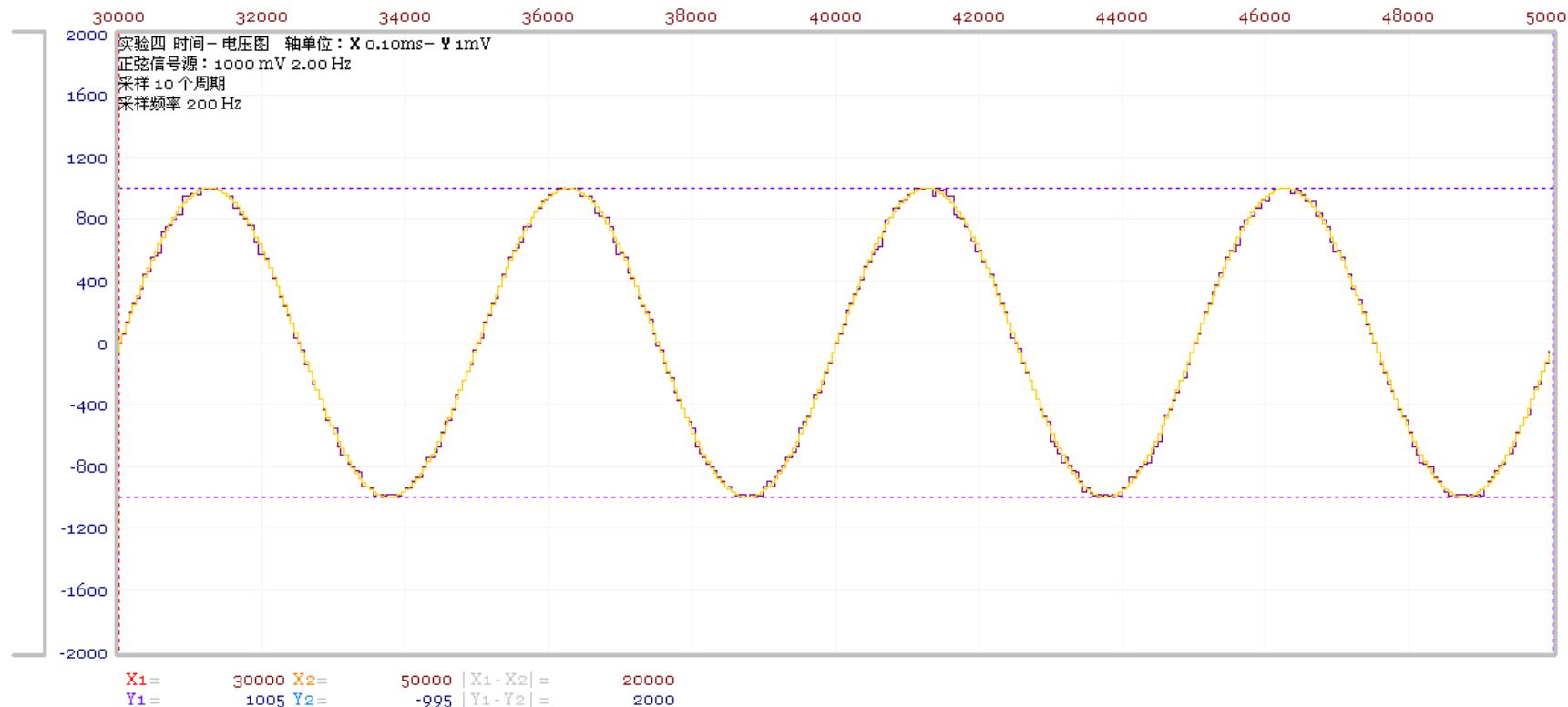
表7.1-2频率特性数据表

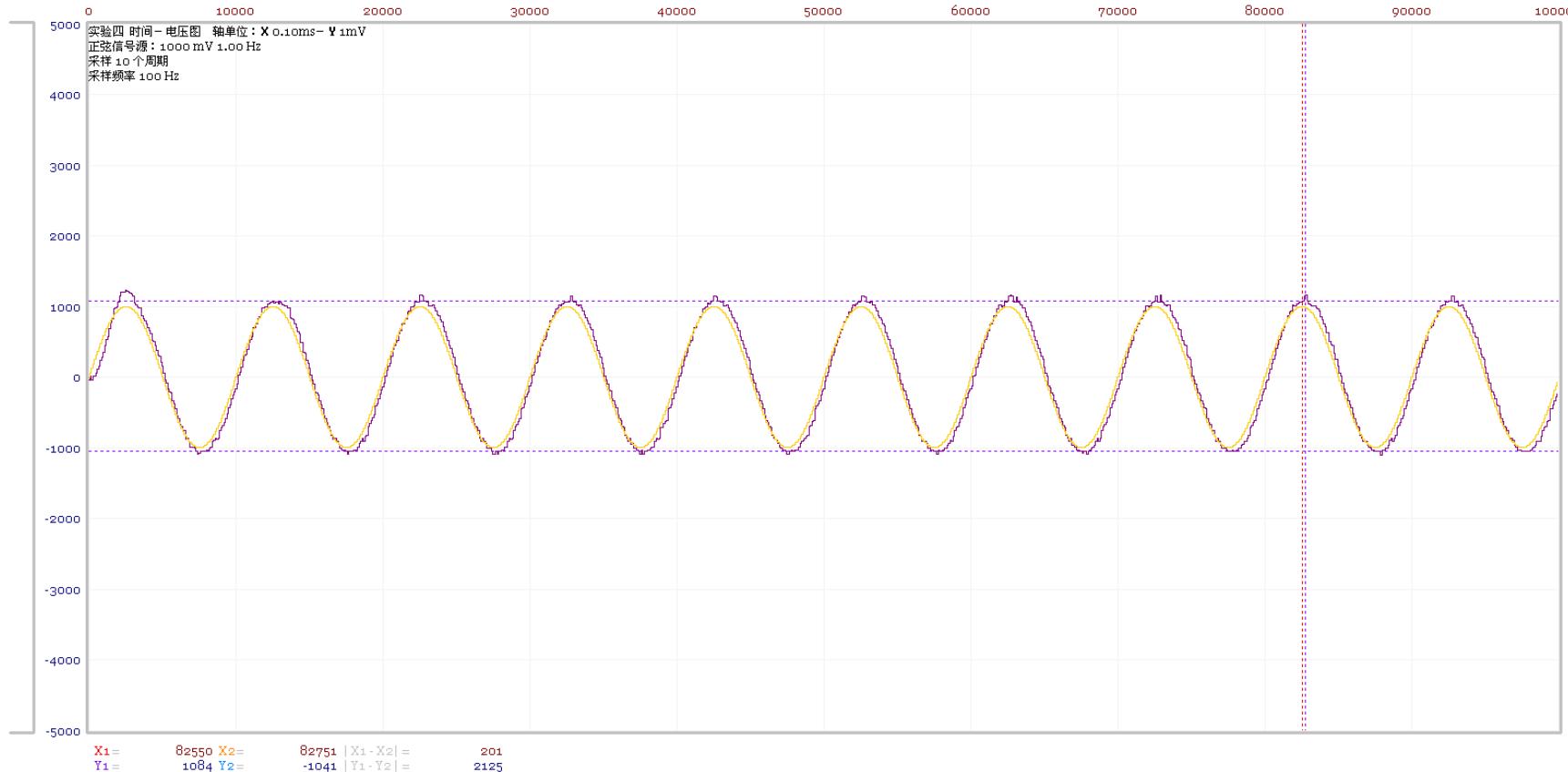
$$X_{p-p} = \underline{\quad} \text{ (毫伏)}$$

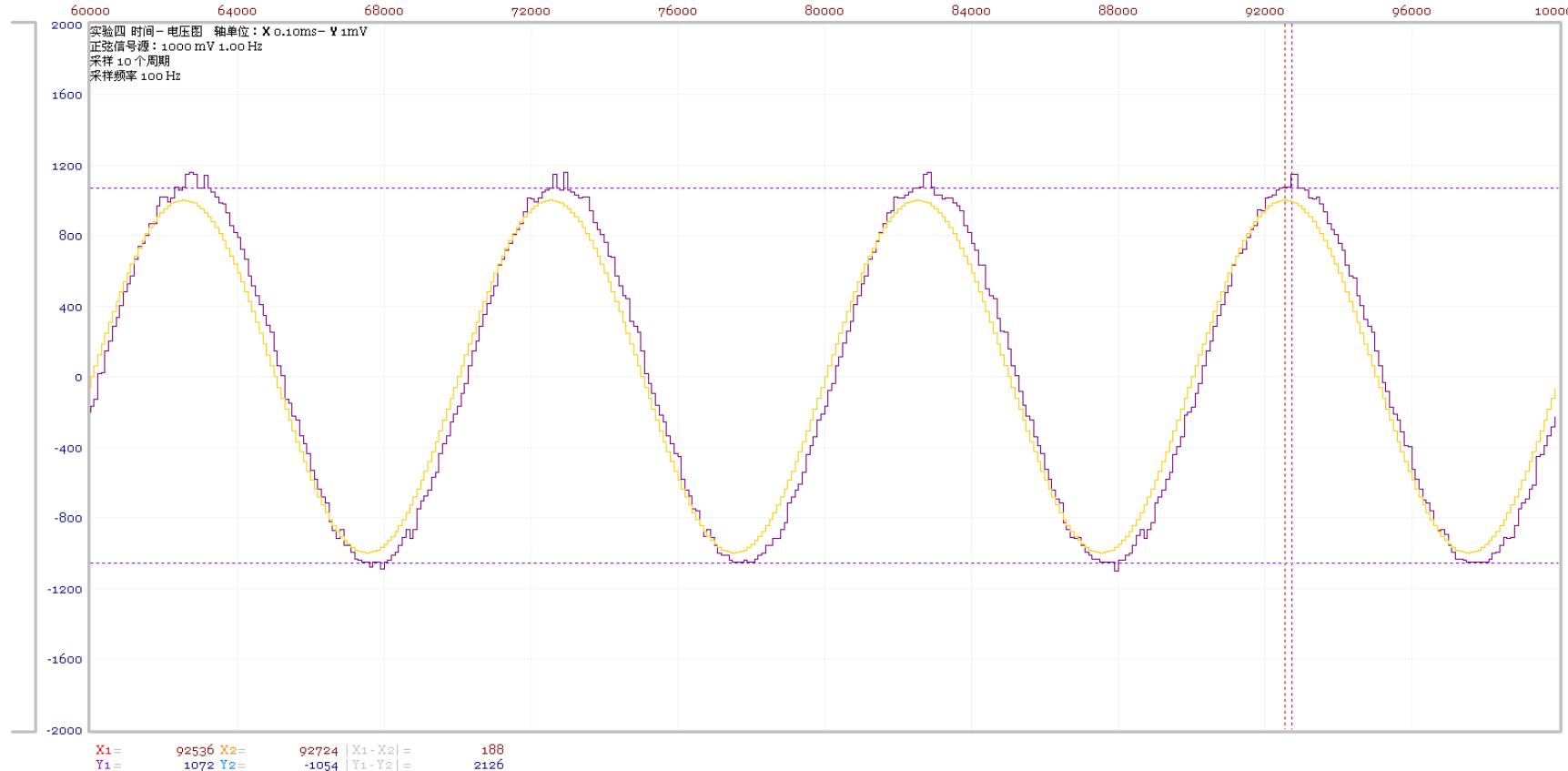


- `[mag,phase]=bode(sys,w)`
 返回角频率为w时的幅值比A(ω)和相位差（以度为单位）
- `wb=bandwidth(sys)`
 返回系统的带宽值 (rad/s)











- 如上图中：

$$\text{相位差时间} = \Delta t * 0.1 * 0.001$$

$$= 188 * 0.1 * 0.001 = 0.0188 \text{秒},$$

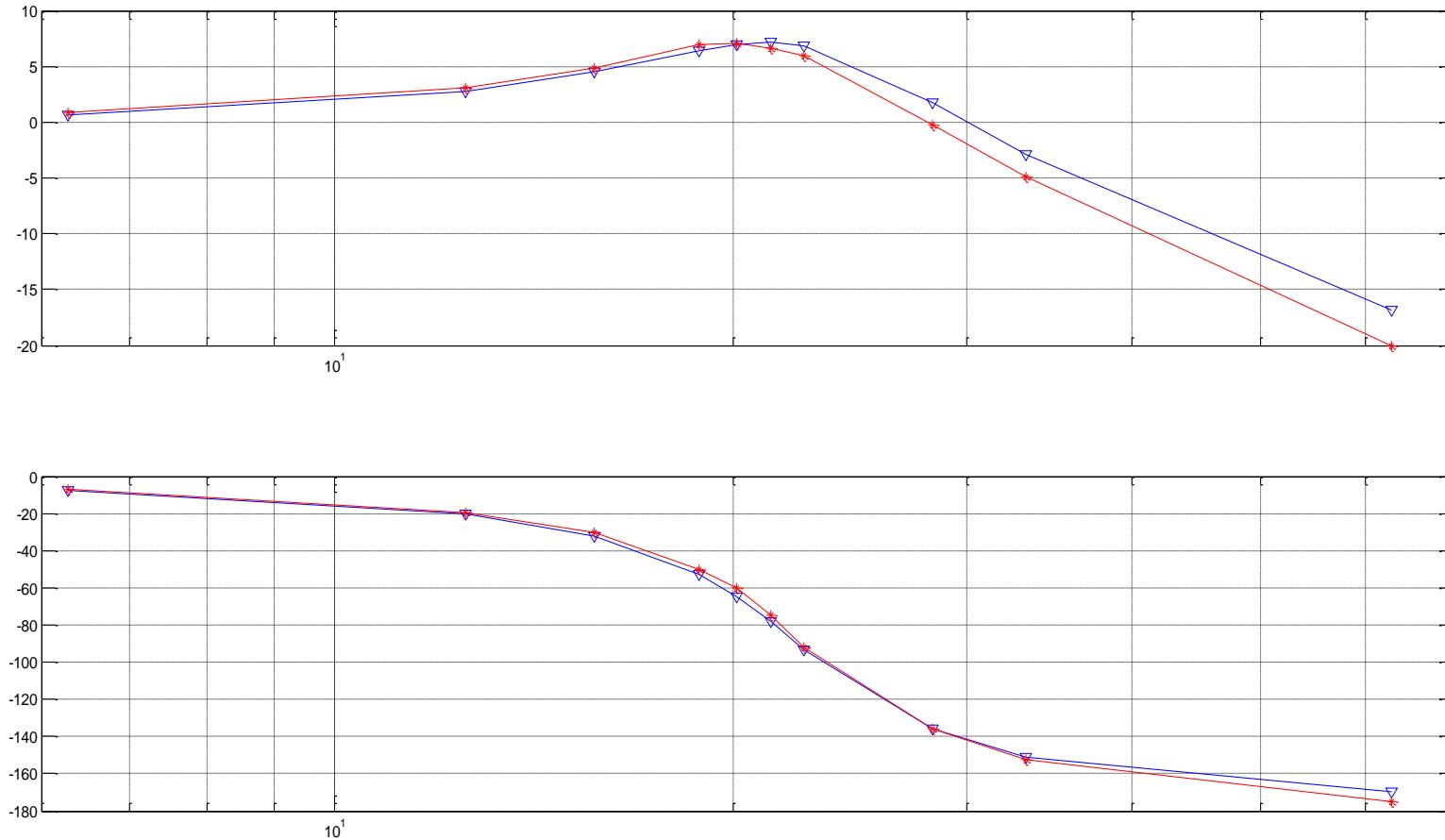
$$\text{换算成角度} = \Delta t / \text{周期} * 360^\circ$$

$$= \Delta t * \text{频率} * 360$$

$$= 0.0188 * 1 * 360 = 6.77^\circ$$



- $x=[6.28 \ 12.56 \ 15.7 \ 18.84 \ 20.096 \dots];$ %注意！这是个例子
- $f=[0.64 \ 2.77 \ 4.49 \ 6.45 \ 7 \dots];$ %理论L
- $f1=[0.9065 \ 3.1067 \ 4.8 \ 6.9271 \ 7.1205 \dots];$ %实验L
- $y=[-7.79 \ -20.3 \ -32 \ -53 \ -64.7 \dots];$ %理论相位差
- $y1=[-7.2 \ -19.3 \ -30 \ -50 \ -60 \dots];$ %实验相位差
- subplot(2,1,1);semilogx(x,f,'v-');
- xlim('manual');xlim([6 70]);
- hold on
- semilogx(x,f1,'r*-');
- hold off
- grid
- subplot(2,1,2);semilogx(x,y,'v-');
- xlim('manual');xlim([6 70]);
- hold on
- semilogx(x,y1,'r*-');
- hold off
- grid





4、根据表 7.1-2 中的数据，在同一坐标下绘制该系统的对数频率特性理论曲线与实验曲线，并记录闭环系统的频域性能指标，填写表 7.1-3。

表 7.1-3 闭环系统频域性能指标数据表

	ω_r	M_r	ω_b
理论值			
实验值			



- 1、实验中AD/DA只用1通道。 DA → 模拟电路 → AD
- ◆ 2、若选用某个运放搭试某一环节，不能选用与其它运放有关的元件，只能借用与其它运放无关的**独立元件**；
- ◆ 3、**纯积分电路**中的电容容易给自己充电，关电源可以瞬间放电；
- 4、曲线没有运行完，千万不能关实验箱电源，会造成死机并烧坏实验箱；
- 5、测试时域特性时输入信号是**阶跃信号（实验二）**！ 测试**频域特性**时输入信号是**正弦波（实验四）**！



- 1、AD1和DA1有没有接反；
- 2、回路中是否奇数个运放；
- 3、反馈电阻是否接入；
- 4、导线有没有断开，操作方法：将万用表打到蜂鸣档，把红线和黑线插入导线的两头，听到bee~的响声表示导线未断，如果没有声音则表示断了。如果发现导线断了，请立刻**扯断扔掉**！
- 5、检测AD/DA故障，操作方法：拿一根导线将AD1和DA1直接连接，打开软件中的实验一，选择方波，点击运行，观察输出曲线（紫色）是否跟踪理论曲线（黄色），理论上两条线应该重叠。



- 1 时域图 (超调, ts (5%) , tp) (1)
- 2 频域图 (最大频率点, 以及周围两个点, 以能够证明最大频率点) (3)
- 4 边截图边记数据, 不要全部记完数据再去截图, 会导致曲线和数据不符!



学习通上有实验报告模板可供参考，但是不可以打印填写，或者填写打印，实验报告全部（除了曲线和程序）手写在实验报告纸上。