12.1 实验报告撰写

12.1.1　概述

（一）实验报告的含义

实验报告是在科学研究中描述、记录某一课题的实验过程和结果的报告。也就是说，在学习和科研活动中，为了检验某种科学理论或假设，往往要进行实验。人们通过操作、观察、分析、综合、判断，如实地将实验过程和结果记录下来，经过整理而写成书面报告。

实验报告是实验工作的全面总结和系统概括，是实验工作不可或缺的重要组成部分，它具有信息交流和资料保存作用。对于大学生来说，撰写实验报告是一项重要的基本功训练。学生通过撰写实验报告，能够加深对所学理论知识的理解，使理论与实践紧密结合；能够培养和提高观察、分析实验现象和独立进行科学研究的能力；能够养成严谨的治学作风和实事求是的科学态度。

（二）实验报告的特点

实验报告具有科学性、确证性和语言的简洁性等特点。

（1）科学性。由于实验报告是在科学实验的基础上得出的，任何臆想和猜测都不能写入报告中，实事求是的科学性是保证实验报告质量的重要条件。

（2）确证性。实验报告要求忠实、客观地反映实验的方法和结果，要不带任何偏见地去记录实验的过程，因此要求所用的数据真实，结果要准确、可靠，具有确证性。

（3）语言的简洁性。实验报告要将实验的过程、方法、结果准确、完整地描述清楚，因此在语言上要求简洁清晰，不宜长篇大论，也不能含糊不清。

（三）实验报告的分类

实验报告写作的基本类型常见的有检验型实验报告和创新型实验报告。检验型实验报告是实验者重复前人已作过试验，再进行一次检验所写的实验报告。创新型实验报告是科研工作者进行一项新的研究写的实验报告。针对信号与系统的课内实验，在每一次实验完成后，都需要撰写该部分的实验报告，这种实验报告属于检验型实验报告。对于后面的自主研究报告，则需要具有创新型实验报告的特征。

12.1.2　写作格式

一份完整的实验报告通常由标题、署名、主体、结尾等内容构成。

（一）　标题

标题是实验内容的高度概括，拟写标题的要求是简洁、醒目、准确，冗长而词不达意的标题应力求避免。但如果实验的内容高度复杂，拟写标题时应首先把意思表达清楚再考虑字数。实验报告的标题有单一式和复合式两种。单一式是指标题直接点题，如“连续时间信号的卷积积分实验”；复合式标题则由总体与具体部分构成，如“连续时间信号时域分析——卷积积分”。

（二）　署名

实验报告的署名包括作者姓名、单位、还包括实验地点、时间等。

（三）　主体

实验报告的主体部分一般主要包括以下内容

1.　实验目的

实验目的概括起来大多是：①理论上，验证定理定律，获得深刻和系统的理解；②实践上，掌握实验工具或实验设备使用的技能技巧。

2.　实验原理

主要介绍实验所涉及的重要概念、重要定理、定律、公式及由此而推算的重要结果等。实验原理是进行实验的立论依据。有的实验要给出计算公式以及公式的推导。

3.　实验装置

此部分应详细介绍实验所使用装置的名称、原理、结构、型号及性能。对于我们的实验，这部分可以介绍 MATLAB 相关指令、用法的说明。

4.　实验步骤和方法

这部分重点介绍自己设计的实验方法或特殊方法，简要介绍实验的过程，必要时还要附上实验原理图、电路图等加以说明。实验步骤就是实验进行的程序，通常都是按操作时间先后划分成几步进行。操作过程的说明，要求简单、明了、清晰。

5.　实验结果

这是实验报告最主要的部分，从实验中得出数据，计算有关结果，是整个实验价值的反映

和体现。要求如实记录实验的所有结果，包括出现的图像、现象、数据等。实验结果必须真实、准确、可靠。

6. 结果分析

这部分是在写出实验报告的结果的同时，分析结果得出的原因及规律。它是实验者的创造性发挥和独到见解，是实验结果从感性认识上升到理性认识的阶段。这部分主要包括实验时观察到哪些现象，得出了哪些规律，如何解释这些现象，得出了哪些规律，说明实验的结果与已知结果或理论推算结果间的对比情况，说明测量误差并作出分析，解释影响实验的根本原因等。

（四） 结尾

这部分主要包括实验的结论（如评价、体会、建议等）和参考文献。

需要强调的是：不必强行照搬上面列出的报告格式，报告中只要含有上面列出的各部分内容即可。可按上面的陈述，来安排内容出现的顺序，但个别条目可以合并和更名。

为了让读者明白报告的撰写规范，下文将给出“连续时间信号的卷积积分实验”报告范文，供大家参考。

12.1.3 实验报告范文

连续时间信号的卷积积分实验

系别____________班级______________姓名_______________学号_________________

指导教师___________________课程名称___________________

实验地点___________________实验时间___________________

一、实验目的

1. 掌握卷积积分的定义和图示求解方法。
2. 掌握利用MATLAB进行卷积运算的原理和方法。
3. 掌握连续时间信号进行卷积积分时调用的函数 conv()。

二、实验原理

1. 卷积积分

对于两个连续时间信号对应的函数 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$，有积分 $f(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} f_1(\tau)\,f(t-\tau)\,d\tau$

称为 $f_1(t)$ 与 $f_2(t)$ 的卷积积分，简称为卷积。卷积运算简记为 $f(t)=f_1(t)*f_2(t)$。

两个函数做卷积积分运算一般需要五个步骤：

（1） 将两个函数的自变量 t 改为 τ，τ 变成函数的自变量，即 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$。

（2） 把其中任一个件数反褶（一般选取函数波形比较简单的进行反褶，例如，把 $f_2(\tau)$ 变成 $f_2(-\tau)$。

（3） 把反褶后的函数沿 τ 轴平移时间 t，得函数 $f_2(t-\tau)$，这样 t 是一个参变量。在 τ 坐标系中，$t>0$ 时图形右移，$t<0$ 时图形左移。

（4） 计算两个函数重叠部分的乘积 $f_1(\tau)\,f_2(t-\tau)$。

（5） 对相乘后的图形在移动变化中分区域进行积分运算。

分区域卷积积分运算中积分上下限的确定取决于两个函数波形重叠部分的范围，卷积结果最终所占有的时宽等于两个函数各自时宽的总和。

2. 卷积积分的应用

对于一个线性时不变系统来说，系统的零状态响应 $y_{ZS}(t)$ 等于系统的输入 $f(t)$ 与系统的单位冲激响应 $h(t)$ 的卷积积分，即 $y_{ZS}(t)=f(t)*h(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)h(t-\tau)d\tau$

当系统为因果系统时，即输入信号从 $t=0$ 时刻加入，有 $y_{ZS}(t)=\int_{0}^{t} f(\tau)h(t-\tau)d\tau$

三、利用 MATLAB 进行卷积的数值计算

在利用 MATLAB 进行连续时间信号的卷积积分运算时，可以用数值方法近似计算，即选取足够小的时间间隔，把连续时间信号转变成离散时间序列，此时积分运算转化为离散序列求和的运算。设选取时间间隔为ΔT，连续时间信号为 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 分别变为离散序列 $f_1(n\Delta T)$ 和 $f_2(n\Delta T)$，卷积积分的运算则表示为：

$$y(t)=f_1(t)*f_2(t)=\int_{-\infty}^{+\infty}f_1(\tau)f_2(t-\tau)d\tau=\sum_{k=-\infty}^{\infty}\int_{k\Delta T}^{k\Delta T+\Delta T}f_1(\tau)f_2(t-\tau)d\tau$$

将t 分割成间隔为ΔT的一系列区间，当ΔT足够小时，区间$k\Delta T\le\tau<k\Delta T+\Delta T$内$\tau\approx k\Delta T$，令$t=n\Delta T$，得到

$$y(t)\approx\sum_{k=-\infty}^{\infty}\int_{k\Delta T}^{k\Delta T+\Delta T}f_1(k\Delta T)f_2(n\Delta T-k\Delta T)d\tau=\sum_{k=-\infty}^{\infty}f_1(k\Delta T)f_2(n\Delta T-k\Delta T)\int_{k\Delta T}^{k\Delta T+\Delta T}d\tau$$

$$=\sum_{k=-\infty}^{\infty}f_1(k\Delta T)f_2(n\Delta T-k\Delta T)\Delta T=y(n\Delta T)\approx y(t)$$

式中，n 和 k 都是整数。将ΔT理解为测样间隔$\Delta T=T_s$，则上式中信号 $y(t)$、$f_1(t)$、$f_2(t)$ 被离散化后得到：$y[n]=\sum_{k=-\infty}^{\infty}f_1[k]f_2[n-k]T_s$

上式的含义是：若利用采样后的离散序列卷积和，来代替采样前连续信号的卷积积分，则需要对信号幅值信息进行调整，调整方式是乘以采样间隔。若要近似还原连续的卷积积分的结果，还需要将卷积和离散序列（幅值调整后）按采样间隔T_s 排列（恢复采样信息）。另外，还需要设置序列的起始位置，具体分析见“结果分析”部分。

在MATLAB中，定义了函数`conv()`用来计算两个信号（序列）的线性卷积的数值解，其调用格式为：`f = conv(f1,f2)`，其中 `f1` 和 `f2` 分别表示两个作卷积运算的信号，`f` 为卷积运算的结果，它们均为有效长度的序列向量。

综上所述，若 `Ts` 表示时间变化步长（采样间隔），在用函数 `conv` 作两个连续时间信号的卷积积分时，应该在这个函数之后乘以采样间隔才能得到正确的结果，即 `f=conv(f1,f2)*Ts`。而 `conv` 函数只给出卷积结果（纵坐标）的结果大小，而不能给出卷积的横坐标。对于定义在不同时间段的两个时限信号 $f_1(t)$（$t_1\le t\le t_2$）和 $f_2(t)$（$t_3\le t\le t_4$）。则它们的卷积结果 $f(t)$ 的持续时间范围要比 $f_1(t)$ 或 $f_2(t)$ 长，其时间范围为$t_1+t_2\le t\le t_3+t_4$。利用这个特点，可以将卷积的结果与时间轴的位置一一对应起来。

四、实验步骤

此处将进行两个方波脉冲 $f_1(t)$ 与 $f_1(t)$ 卷积 $f(t)=f_1(t)*f_2(t)$ 的实验，两个方波脉冲如图 12.1.1 所示。

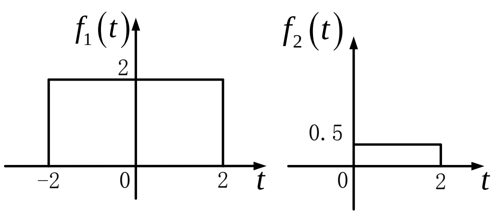

图 12.1.1 计算两个信号的卷积

（一）自定义卷积函数 `ConvSignal`，输入两个信号的横纵坐标序列和采样率，输出卷积后信号

的横纵坐标序列。

```
function [f, tf]=ConvSignal(f1,t1,f2,t2,ts)
% ConvSignal计算两连续信号的卷积积分    % H1行
% 输入参数： f1和f2分别表示两个信号的序列，t1和t2分别表示它们的时间序列
%           ts为采样间隔
% 返回值： f表示卷积信号的序列，tf表示卷积信号的时间序列
tf1 = t1(1)+t2(1);        % 两序列起点之和
tf2 = t1(end)+t2(end);    % 两序列终点之和
f = conv(f1,f2)*ts;       % 调用卷积函数
tf = tf1:ts:tf2;
end
```

（二）建立 MATLAB 脚本式 M 文件，在程序中调用自定义函数 ConvSignal：

```
clc;
clear;
close all;
Ts = 0.01;
t1 = -3:Ts:3;
t2 = -1:Ts:3;
f1 = 2*rectpuls(t1,4);                      % 信号1
f2 = 0.5*rectpuls(t2-1,2);                  % 信号2
[f,tf]= ConvSignal(f1,t1,f2,t2,Ts);     % 调用自定义函数
subplot(3,1,1)
plot(t1,f1,'-k','linewidth',2);
ylim([min(f1)-0.5,max(f1)+0.5]);
xlabel('t','fontsize',20);
ylabel('f1(t)','fontsize',20);
title('信号f1(t)','fontsize',20);
subplot(3,1,2)
plot(t2,f2,'-k','linewidth',2);
ylim([min(f2)-0.5,max(f2)+0.5]);
xlabel('t','fontsize',20);
ylabel('f2(t)','fontsize',20);
title('信号f2(t)','fontsize',20);
subplot(3,1,3)
plot(tf,f,'-k','linewidth',2);
ylim([min(f)-0.5,max(f)+0.5]);
xlabel('t','fontsize',20);
ylabel('f(t)','fontsize',20);
title('卷积信号f(t)=f1(t)*f2(t)','fontsize',20);
```

五、实验结果

程序运行后，绘制的近似卷积积分结果如图 12.1.2 所示。

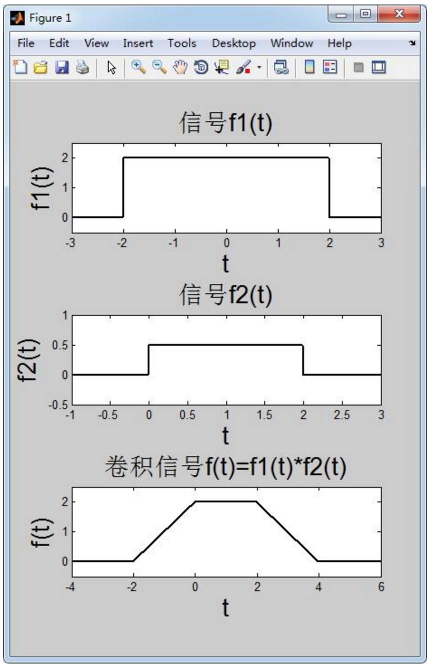

图 12.1.2 近似卷积积分结果

六、结果分析

这里证明一下，对于定义在不同时间段的两个时限信号 $f_1(t)$（$t_1 \le t \le t_2$）和 $f_2(t)$（$t_3 \le t \le t_4$）。则它们的卷积结果 $f(t)$ 的持续时间范围为$t_1+t_2 \le t \le t_3+t_4$。

证明：

将一个因果信号 $x(t)$通过一个因果系统$h(t)$，得到相应信号 $y(t)$，如图 12.1.3 所示。

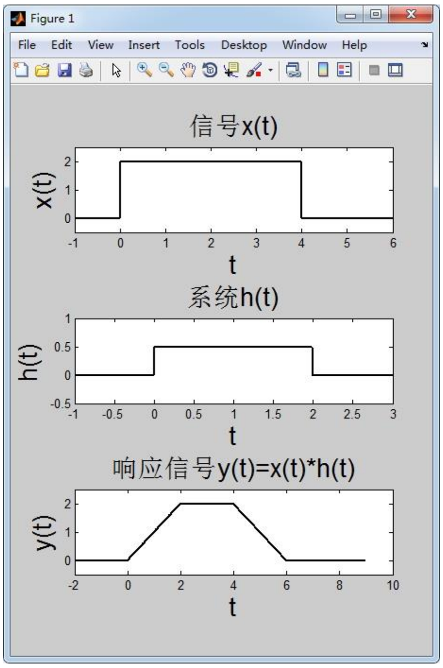

图 12.1.3 因果系统输出

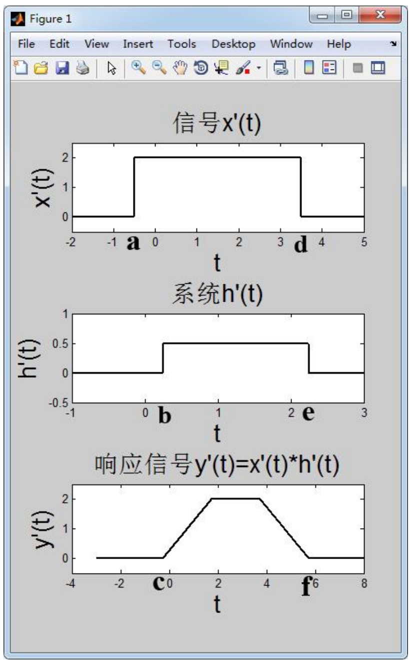

图 12.1.4 输入输出从$t \ne 0$时刻开始的情况

从图 12.1.3 可以看出，当$x(t)$与$h(t)$都从$t=0$开始时，输出信号$y(t)$也是从$t=0$开始的，这与我们的生活经验相符，当LTI系统满足因果性，输出信号是在开始输入的时刻同时开始的。现在我们有一个从$t \ne 0$时刻开始的输入信号$x'(t)$，和一个单位冲激响应$h'(t)$函数从$t \ne 0$时刻开始的系统，如图 12.1.4 所示。可以看出$x'(t)$、$h'(t)$和$y'(t)$是由$x(t)$、$h(t)$、$y(t)$时移得到的。图 12.1.4 中还

标注了 $x'(t)$ 、$h'(t)$ 和 $y'(t)$ 的起始位置分别为a、b、c，终止位置为d、e、f，则有关系如下：

$$x'(t)=x(t)*\delta(t-a)=x(t-a)$$

$$h'(t)=h(t)*\delta(t-b)=h(t-b)$$

因此：

$$\begin{aligned} y'(t)&=x'(t)*h'(t)=x(t)*\delta(t-a)*h(t)*\delta(t-b) \\ &=x(t)*h(t)*\delta(t-a-b)=y(t)*\delta(t-a-b)=y(t)*\delta(t-c) \end{aligned}$$

得到：$c=a+b$。

由于 $(d-a)+(e-b)=(f-c)$，所以 $f=d+e$。

七、结尾

分享自己的心得体会，以及对教师或实习环境资源的建议，和参考文献。

12.2 实习报告撰写

《信号分析处理实验与综合设计实践》结束后，需要撰写实习报告和自主研究报告，下面给出实习报告模板和自主研究报告范文供大家参考。

12.2.1　实习报告模板

1、信号频谱分析

（可围绕如下内容展开：傅里叶变换(DFT)是如何定义的，理解其真正含义；分析连续周期、连续非周期、离散周期、离散非周期信号的频谱与DFT之间的关系；如何理解频谱混叠与泄漏、栅栏效应；实习具体内容。）

1.1 理论基础

1.2 技术方案和实现过程

1.3 结果展示与数据分析

2、数字滤波器设计

（可围绕如下内容展开：如何理解数字频率与模拟频率的关系；给出窗函数法设计FIR数字滤波器的思想；对FIR滤波器线性相位重要意义的理解；实习具体内容。）

2.1 理论基础

2.2 技术方案和实现过程

2.3 结果展示与数据分析

3、Simulink仿真系统分析与设计实践

（可围绕如下内容展开： 如何理解一阶系统和二阶系统的响应特性，如何测量系统的响应特性；离散正弦幅度调制与连续正弦幅度调制的区别与联系；反馈系统如何使系统稳定（选做）；如何用好Simulink等）

3.1 所仿真各系统的特点（不能直接做题目）

3.2 Simulink仿真系统的搭建

3.3 结果展示与数据分析

4、总结与分析

4.1 对自己学习效果的评价

（以百分制打分）

4.2 分析仿真软件本身局限性以及仿真模拟与实际的差异

（采用 MATLAB 软件工具进行仿真研究，分析工具本身的局限性以及采用该工具进行仿真模拟与实际的差异）

4.3 分享心得体会

4.4 对教师或实习环境资源的建议

5、参考文献

（可以是查阅过的文献，也可以是网络资料网址）
[1]
[2]
...
*按照上面章节安排撰写实习报告，不用给出具体程序实现代码，模板中的（）是解释和参考，正式报告中请删除。

12.2.2　自主研究报告范文

一、问题陈述

在前面 Simulink 仿真的学习中，发现了一个有趣的现象，在如图 12.2.1 的系统中，用两个阶跃函数做差得到方形脉冲作为探测信号，输入连续二阶系统，之后通过 Spectrum Analyzer 模块测量系统频率响应。这里老师已经说明了探测信号选取的依据：只有探测信号中包含有某频率分量 ω_0，才能探测出该系统的在该频点的频率响应 $H(\omega_0)=Y(\omega_0)/X(\omega_0)$，所以探测信号的频谱应该尽量包含更多的频率组分。理论上，选取单位冲激函数作为输入是最理想的，但单位冲激函数无法获得，故这里选取方形脉冲作为输入，是因为方形脉冲具有无限的频率分布。

然而，当变化方形脉冲的脉宽时，得到了不同的仿真结果。当脉宽为 30s 时，系统的幅频特性曲线如图 12.2.2（中部子图），可以发现曲线上出现了大量的尖突状波动点；当脉宽为 3s 时，系统的幅频特性曲线如图 12.2.3（中部子图），此时发现曲线变得比较平滑，但还有细小的起伏；当脉宽为 0.3s 时，系统的幅频特性曲线如图 12.2.4（中部子图），此时曲线变得更加平滑，已经与理想情况下的二阶连续系统频率响应高度一致。三种情况的 “计算缓冲区长度”和“fft 计算点数”均设置为5000，采样间隔为 0.01s。

这里随着脉宽的不断减小，输入信号可以看做不断逼近单位脉冲信号，对应系统的频率响应则越来越接近理想状况。这是比较容易理解的，但为何当脉宽为 30s 的情况中，频率响应出现误差的形式是有规律的尖突状波动？这里将对这一问题进行试验与讨论。

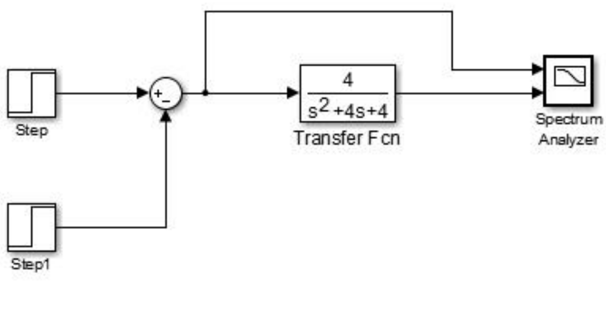

图 12.2.1 二阶连续时间系统模型之系统频率响应测量

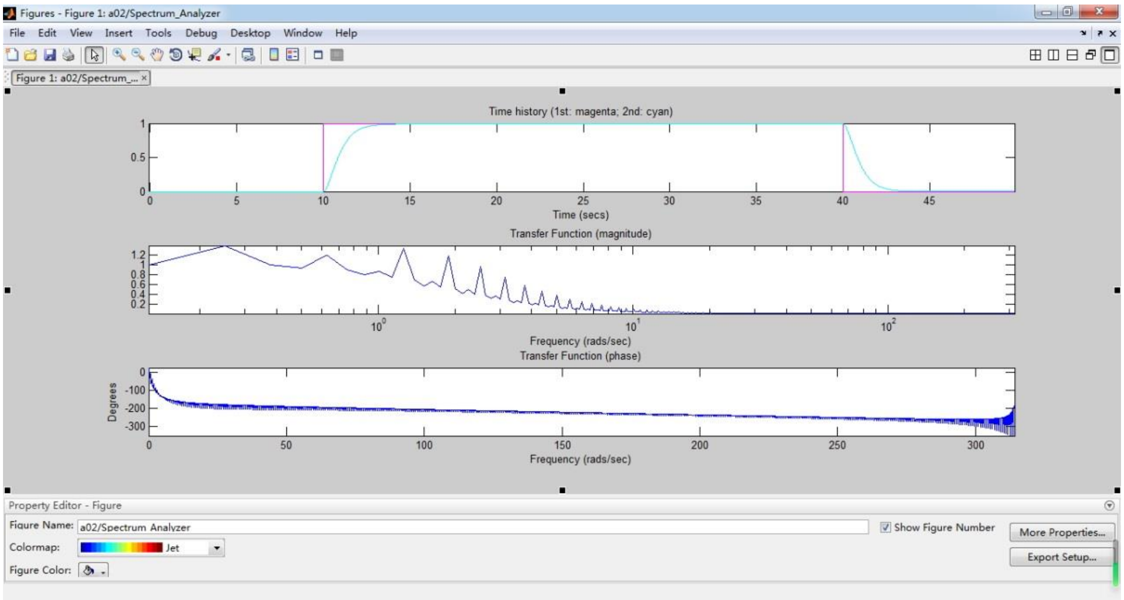

图 12.2.2 脉宽为 30s 时系统频率响应（5000点情况）

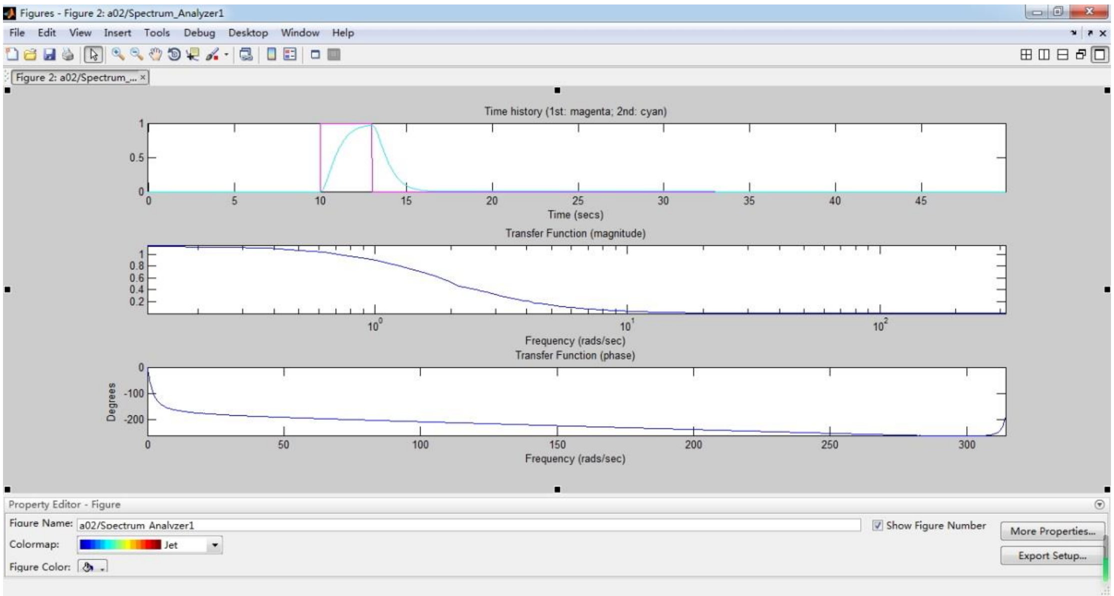

图 12.2.3 脉宽为 3s 时系统频率响应（5000点情况）

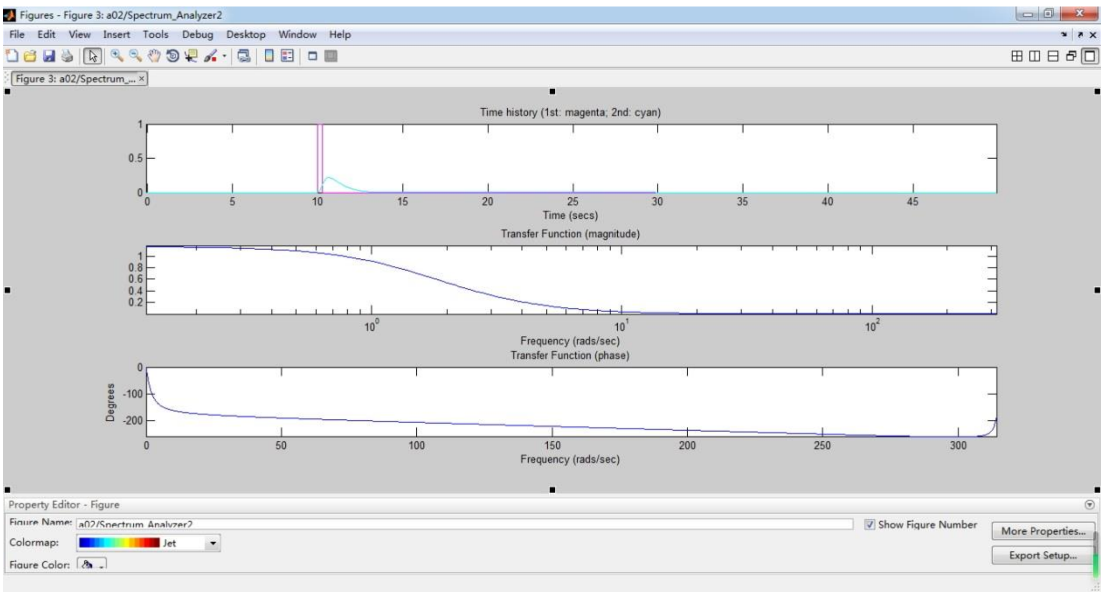

图 12.2.4 脉宽为 0.3s 时系统频率响应（5000点情况）

二、试验过程

通过对同一个系统进行信号采集，输入和输出分别保存到变量 simout 和 simout1 中，如图 12.2.5

所示。为了与上面的情况一致，这里的采样间隔也设为 0.01s，时间范围 0 ~ 49.99s，共5000个采样点，与上面一致。

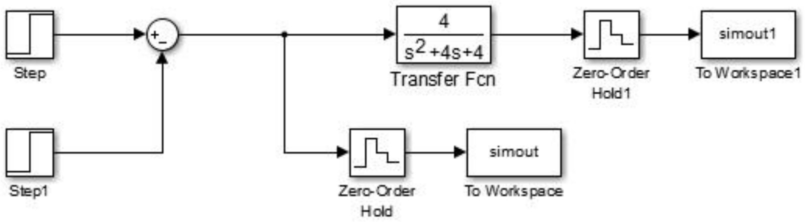

图 12.2.5 二阶连续时间系统模型之输入输出信号
（时域采样）作为变量储存入工作区

将变量 simout（输入信号）与变量 simout1（输出信号）进行 fft 变换，之后做出幅频特性曲线，对应图 12.2.6 A（输入）和图 12.2.6 B（输出）。

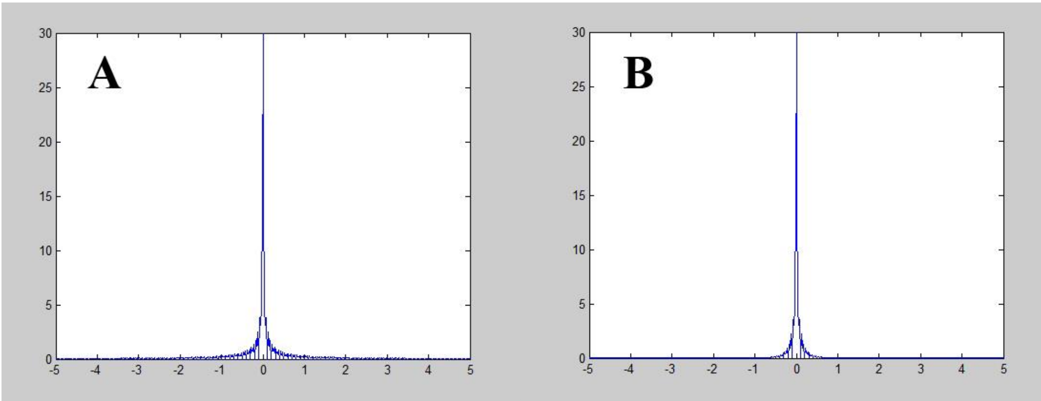

图 12.2.6 5000点采样情况下输入信号（A）与输出信号（B）幅频特性曲线

将图 12.2.6 中两图中数据对应点相除（输出除以输入），得到图 12.2.7。从图中可以看出，数据在很多位置处发生了中断，检查 Workspace 中的具体数据，如图 12.2.8 所示。其中，Inf 代表无穷大值（∞）。故推断分母序列中周期性的出现 0 值，放大输入信号的幅频特性曲线如图 12.2.9 所示，可以看到很多的过 0 点。进一步检查 Workspace 中输入数据幅频特性具体值，如图 12.2.10 所示，验证了这一推断。

故得出结论，图 12.2.2 中发生的信号波动点即为如图 12.2.7 中的无穷值点，在图 12.2.2 中输入信号序列在这些过零点附近取值时，由于接近 0 值，故计算误差极大，出现了信号周期性波动。

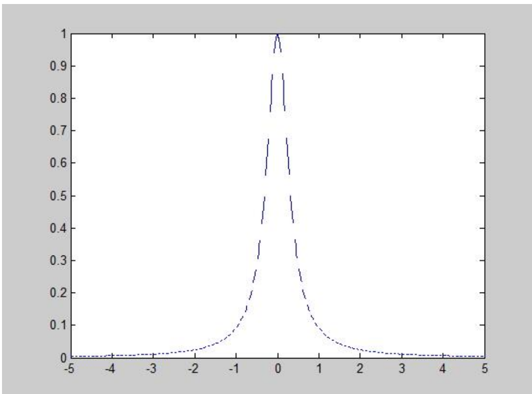

图 12.2.7 5000点采样情况下系统的幅频特性曲线

	1
1	1.0000
2	0.9961
3	0.9845
4	0.9657
5	0.9406
6	Inf
7	0.8756
8	0.8379
9	0.7983
10	0.7577
11	Inf
12	0.6767

图 12.2.8　5000点采样情况下系统的幅频特性数据

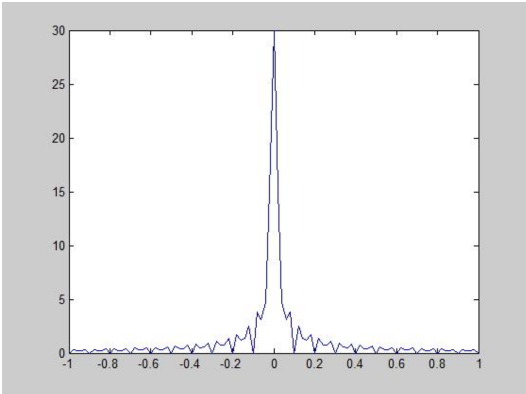

图 12.2.9　5000点采样情况下输入信号幅频特性曲线（局部放大）

	1
1	30
2	15.1365
3	4.6774
4	3.1183
5	3.7841
6	0
7	2.5228
8	1.3364
9	1.1694
10	1.6818
11	0
12	1.3761

图 12.2.8　5000点采样情况下输入信号的幅频特性值

注意到，在第一章中 Simulink 仿真部分讲解，举了相同的系统做为例子，只不过在数据采集时，变量 simout 和 simout1 长度为 5001。这种情况下进行系统的幅频特性分析，并没有发现数据出现无穷大的情况。经过思考，得出了原因：当数据点数为 5001 时，由于频率分辨率为 $f_s/5001=100/5001$（f_s为采样率），导致输入信号取不到 0 点，所以系统幅频特性正常。为了验证此结论，再次检查 Workspace 中的输入信号幅频特性值，如图 12.2.9 所示。在原来出现 0 值的位置处出现的是 0.0060。

	1
1	30
2	15.1414
3	4.6735
4	3.1238
5	3.7830
6	0.0060
7	2.5251
8	1.3318
9	1.1744
10	1.6803
11	0.0060
12	1.3782

图 12.2.9　5001点采样情况下输入信号的幅频特性值

进一步，在图 12.2.1 的系统中将“计算缓冲区长度”和“fft 计算点数”均设置为 4700，运行结果如图 12.2.10 所示。该系统幅频特性曲线的尖突状波动得到了改善。

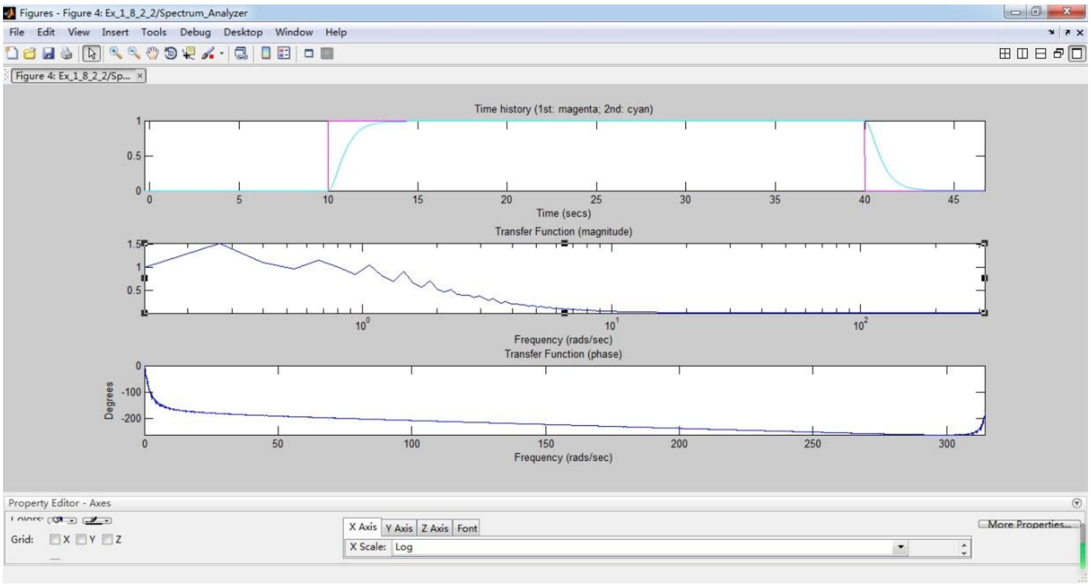

图 12.2.10　脉宽为 30s 时系统频率响应（4700点情况）

发现，当取样点数值包含无法除开的因数时，其系统幅频特性曲线（基于离散点）会有一定改善。

三、总结

通过上面分析，可以得到如下结论：

1）当利用关系式 $H(j\omega)=Y(j\omega)/X(j\omega)$，用实验手段探测系统的频率响应时，探测信号 $X(j\omega)$ 中所包含的频率分布会影响最后的探测结果 $H(j\omega)$。

2）选择输入信号时需要使 $X(j\omega)$ 的频率范围越广越好，还需要考虑 $X(j\omega)=0$ 的频率点，在这些频率点附近，计算结果会有较大误差，这里我们称为“过零误差”。

3）可通过调整频率分辨的方式改善“过零误差”。

12.2.3　自主研究报告题材推荐（供参考）

（1）用 DFT 代替 CTFT DTFT CFS DFS 需要按下表进行幅值转换：

CTFT	DFT计算结果乘以采样间隔 Ts	CFS	DFT计算结果除以总点数 N
DTFT	DFT计算结果（直接使用）	DFS	DFT计算结果除以总点数 N

对这些关系进行数学推导。

（2）如何理解采样定理，采样后系统的频率信息丢失了吗？若不丢失，做何种处理？MATLAB实验中是怎么体现的？

（3）按如下代码（节选）进行信号的频谱分析，可以发现，发生了泄露。但所取数据长度为整周期（6个周期），分析原因。

```
fs=100;
ts=1/fs;
t=0:ts:1.2-ts;
y=(square(2*pi*5*t)+1)/2;
```

（4）关于 FIR 滤波器，在利用 `filter` 函数计算是基于什么原理？利用卷积进行 FIR 滤波与这种方法等效吗？ FIR 系数向量长度影响结果的频率分辨率吗？什么影响 FIR 滤波结果的频率分辨率？