武汉大学教学实验报告

电子信息学院 电子信息工程 专业 2019 年 9 月 20 日

实验名称 信号的抽样与内插 指导教师 黄根春

姓名 李昊 年级 2017级 学号 2017301200060 成绩

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 实验目的   1. 熟悉信号的抽样与恢复过程； 2. 观察欠采样与过采样时信号频谱的变化； 3. 掌握采样频率的确定方法。   2 实验原理  2.1 奈奎斯特抽样定理  由奈奎斯特时域抽样定理可知，若连续时间信号的频谱在之间分布，最高频率为，则信号可以用等间隔的抽样值唯一表示，且抽样间隔必须不大于 ，或者说抽样频率。  2.2 临界采样、过采样与欠采样  对上述信号进行采样，根据使用的抽样频率不同，可以分为临界采样、过采样与欠采样三种情况。临界采样，是指实际抽样频率等于奈奎斯特抽样率。临界采样可使信号的抽样频谱不产生重叠，同时也不会产生频谱周期的空隙，恰好可恢复原信号。欠抽样使抽样频率小于奈奎斯特抽样率，这将使抽样信号频谱重叠，导致无法恢复原信号。过抽样使抽样频率大于奈奎斯特抽样率，使抽样信号频谱中产生空隙，但仍可恢复原信号。  对于频谱从0到连续的信号，对其进行欠采样会使其频谱产生混叠；但对于窄带信号（如），如果能确定其频率下限，就可以合理选择抽样频率，同样可以达到频谱不产生混叠的效果。此种方式能够降低抽样使用的频率，节省设备成本。  2.3 抽样与内插实验原理框图  输出  抽样恢复  滤波器  模拟  乘法器  防混叠滤波器  信号源  脉冲发生器  图**2.1** 实验原理框图  本实验原理大致可用上图表示：信号源产生待处理的原始信号；防混叠滤波器为一低通滤波器，用于限制原始信号的最高频率，滤除原始信号中的高频噪声，防止抽样时发生频谱混叠；模拟乘法器将脉冲发生器中产生的抽样脉冲序列与经滤波器处理的信号相乘，实现信号抽样；抽样恢复滤波器为一低通/带通滤波器，用于滤除抽样产生的高频分量，从抽样信号中还原原始信号。实验的目标是使系统输出信号与原始信号尽量一致。  3 实验内容   1. 在SIMULINK中搭建如图3.1、图3.2所示的模拟实验系统（可视为图2.1所示原理框图的具体实现），设置好信号发生器等各设备的参数，进行信号的抽样与内插模拟实验。 2. 分别观察在**过采样、欠采样和临界采样**的状态下的**正弦波、方波**的**时域、频域**信息，给出对应的波形/频谱图（共3\*2\*2=12张图片）。   图**3.1** 临界采样、过采样的模拟实验系统  图**3.2** 欠采样的模拟实验系统  注：图3.1所示的实验平台用于临界采样、过采样的模拟，图3.2所示的实验平台用于欠采样的模拟，两者的区别仅在于抽样恢复滤波器，图3.1采用了低通滤波器，图3.2采用的则是带通滤波器。  4 实验操作过程  4.1 实验系统的搭建与设置  按照图3.1、3.2在SIMULINK中搭建好实验系统，然后针对不同的实验情况，按照下表对各设备进行设置：  表**4.1 不同实验组及对应设备设置**   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 原始信号 | 正弦波 | | | 方波  奇对称，频率1Hz，幅值1 | | | | 模拟时长 | 0 - 10s | | | | | | | 防混叠  滤波器 | 8阶巴特沃斯低通  最高频率3Hz（\*1） | | | 8阶巴特沃斯低通  最高频率19Hz（\*2） | | | | 采样方式  (采样率) | 过采样  (10Hz) | 临界采样  (2Hz) | 欠采样  (1Hz) | 过采样  (152Hz) | 临界采样  (38Hz) | 欠采样  (19Hz) | | 采样信号 | 占空比为1%的方波，周期由采样率决定 | | | | | | | 恢复  滤波器（\*3） | 8阶巴特沃斯低通  最高频率2Hz | | 带通  0.7-1.3Hz | 8阶巴特沃斯低通  最高频率19Hz | | |   \*1：在理想情况下滤波器最高频率应取1Hz，以最大限度的抑制高于信号频率的噪声，但由于信号发生器产生的正弦波并非完全理想，巴特沃斯滤波器也存在过渡带，因此需要将最高频率略微增大，以避免波形的严重失真。  \*2：方波理论上来说是无限个奇次谐波的叠加，滤波器无论怎么设计都不可避免地会削去一部分高频分量（相当于用有限项级数逼近方波）。此处使用19Hz的低通滤波器，可以较多地保留其波形特征。滤波后的信号可以看作最高频率为19Hz的基带信号，对应的奈奎斯特抽样频率为38Hz。  \*3：恢复滤波器的通带选取的原则是能否在抽样信号的频谱中取出原始信号的一个完整的频谱。在实际操作中，恢复滤波器通带是通过观察抽样信号的频谱，观察恢复信号与原始信号的区别，进行反复调整后得到的。对于过采样和临界采样的情况，频谱必然不会混叠，此时简单取原信号的最高频率作为低通滤波器的最高频率即可。对于正弦波欠采样的情况，由于原始信号本身为一带通信号，其频谱分布在0.7-1.3Hz之间，对抽样信号进行0.7-1.3Hz的带通滤波可以取出大部分的原始信号；对于方波欠采样的情况，由于方波的频谱图近似为一基带信号，无法像正弦波一样处理。  4.2 实验系统的数据处理与频谱图绘制  在上述实验系统中插入若干个示波器，以观察抽样还原过程中各节点的信号波形；插入若干个simout模块，将模拟的波形以数列的形式输出到MATLAB控制台中，之后使用fft()函数对各节点的信号进行处理得到频域图像。（具体代码见附录）  5 实验数据与结果  5.1 正弦波临界采样  图**5.1** 正弦波临界采样时域波形图  图**5.2** 正弦波临界采样频谱图  5.2 正弦波过采样  图**5.3** 正弦波过采样波形图  图**5.4** 正弦波过采样频谱图  5.3 正弦波欠采样  图**5.5** 正弦波欠采样波形图  图**5.6** 正弦波欠采样频谱图  5.4 方波临界采样  图**5.7** 方波临界采样波形图  图**5.8** 方波临界采样频谱图  5.5 方波过采样  图**5.9** 方波过采样波形图  图**5.10** 方波过采样频谱图  5.6 方波欠采样  图**5.11** 方波欠采样波形图  图**5.12** 方波欠采样频谱图  6 实验效果分析与总结  本实验使用SIMULINK仿真了模拟-数字信号系统中一个重要的组成部分：抽样与还原系统，并实际观察了不同采样方式下采样系统的作用效果。借助SIMULINK高度拟真的环境，我们可以简单地实现电子设计的仿真，方便我们在实现实际电路前把握总体的设计。  7 课后思考题   1. 说明采样频率变化对信号时域和频域特性的影响。   答：采样频率等于奈奎斯特频率，即原始信号最高频率的两倍时，信号的频谱恰不发生混叠，采样信号可以还原为原始信号；采样频率大于奈奎斯特频率时，采样信号各频谱间的空隙逐渐增大，采样信号仍可以还原为原始信号；采样频率小于奈奎斯特频率时，信号频谱发生混叠，采样信号不能还原为原始信号，出现明显失真。   1. 分析采样与内插仿真模型中两个低通滤波器的作用。   答：抽样前的低通滤波器是防混叠滤波器，作用是限制原始信号的最高频率，抑制原始信号中高频的噪声，保证抽样时频谱不发生混叠；抽样后的低通滤波器是抽样还原滤波器，作用是滤除抽样信号中的高频分量，从抽样信号中还原出原始信号。 |
| 教师评语 |
| 指导教师 年 月 日 |

附录

A.1 频谱分析源代码

%% 实验二 频谱分析

% 程序作者：李昊 2017301200060

% 日期：2019/9/20

% 解包SIMULINK的输出，得到各节点的信号

time = out.tout;

src = out.src;

imp = out.imp;

lpf = out.lpf;

product = out.product;

rec = out.rec;

% 从得到输出信号的长度和采样周期

L = length(time); % 信号长度“点数”

Ss = (time(L) - time(1)) / L; % 采样周期(s)

Fs = 1 / Ss; % 采样频率

%绘制各信号时域图

figure(1);

subplot(221);

plot(time, src);

xlabel('t(s)');

ylabel('y(t)');

title('信号源波形');

ylim([-1.5 1.5]);

grid;

subplot(222);

plot(time, imp);

xlabel('t(s)');

ylabel('y(t)');

title('抽样脉冲的波形');

grid;

subplot(223);

plot(time, product);

xlabel('t(s)');

ylabel('y(t)');

title('抽样后信号的波形');

grid;

subplot(224);

plot(time, rec);

xlabel('t(s)');

ylabel('y(t)');

title('恢复以后信号的波形');

grid;

% 使用fft()进行傅里叶变换并归一化，提取单边频谱

% N = 2^nextpow2(L); % 将L放大到最近的2的整数幂N，以加速fft()的计算

N = L;

if (mod(N, 2) == 1)

N = N + 1;

end

% 序列末尾补0至长度N，进行傅里叶变换

Src = fft(src, N); Lpf = fft(lpf, N);

Product = fft(product, N); Rec = fft(rec, N);

% 归一化并取绝对值，得到双边频谱，然后取左半边，得到单边频谱

Sd = abs(Src / N); Ss = Sd(1: (N/2 + 1)); Ss(2:end-1) = 2\*Ss(2:end-1);

Ld = abs(Lpf / N); Ls = Ld(1: (N/2 + 1)); Ls(2:end-1) = 2\*Ls(2:end-1);

Pd = abs(Product / N); Ps = Pd(1: (N/2 + 1)); Ps(2:end-1) = 2\*Ps(2:end-1);

Rd = abs(Rec / N); Rs = Rd(1: (N/2 + 1)); Rs(2:end-1) = 2\*Rs(2:end-1);

% 绘制频谱图

freq = Fs \* (0: (N/2)) / N; % 生成频谱图的横坐标

figure(2);

freqRange = 50; % 取部分频谱展示

subplot(221);

plot(freq, Ss);

xlabel('f(Hz)');

ylabel('|P1(t)|');

title('输入信号的幅频特性');

grid;

subplot(222);

plot(freq, Ls);

xlabel('f(Hz)');

ylabel('|P1(t)|');

title('滤波后信号的幅频特性');

grid;

subplot(223);

plot(freq, Ps);

xlabel('f(Hz)');

ylabel('|P1(t)|');

title('抽样后信号的幅频特性');

grid;

subplot(224);

plot(freq, Rs);

xlabel('f(Hz)');

ylabel('|P1(t)|');

title('恢复后信号的幅频特性');

grid;