

成绩	
教师签字	

通 信 工 程 学 院

实 验 报 告

(信 号 与 系 统)

实验题目：信号的采样与恢复

专业：	通信工程	年级：	2022 级
姓名：	苏睿杰	学号：	20220826
实验时间：	2023 年 11 月 17 日	班级：	42

实验二十一 信号的采样与恢复

一、实验目的

1. 掌握低通滤波电路的通频带的测量方法。
2. 了解电信号的采样方法与过程及信号的恢复。
3. 验证采样定理。

二、实验仪器

1. 信号与系统实验箱一台
2. 数字示波器一台
3. 数字信号发生器
4. 交流毫伏表

三、实验原理

1. 离散时间信号可以从离散信号源获得，也可以从连续时间信号采样而得。采样信号 $f_s(t)$ 可以看成连续信号 $f(t)$ 和一组开关函数 $s(t)$ 的乘积。 $s(t)$ 是一组周期性窄脉冲。对采样信号进行傅立叶分析可知，采样信号的频率包括了原连续信号以及无限个经过平移的原信号频率。平移的频率等于采样频率 f_s 及其谐波频率 $2f_s$ 、 $3f_s$...。
2. 抽样信号在一定条件下可以恢复原来的信号，只要用一截止频率等于原信号频谱中最高频率 f_n 的低通滤波器，滤除高频分量，经滤波后得到的信号包含了原信号频谱的全部内容，即低通滤波器的输出可以得到恢复后的信号。
3. 原信号得以恢复的条件是 $f_s \geq 2B$ ，其中 f_s 为采样频率， B 为原信号占有的频带宽度。 $f_{min} = 2B$ 为最低采样频率。当 $f_s < 2B$ 时，采样信号的频谱会发生混叠；所以无法用低通滤波器获得原信号频谱的全部内容。在实际使用时，仅包含有限频率的信号是极少的，因此即使 $f_s = 2B$ ，恢复后的信号失真还是难免的。

实验中选用 $f_s < 2B$ ， $f_s = 2B$ ， $f_s > 2B$ 三种抽样频率对连续信号进行采样，以验证采样定理。要使信号采样后能不失真的还原，采样频率 f_s 必须远大于信号频率中最高频率的两倍。采样频率一般为信号频率四倍以上。

4. 为了实现对连续信号的采样和对采样信号的复原，可用实验原理框图 1 所示。除选用足够高的采样频率外，常采用前置低通滤波器来防止信号频谱过宽而造成采样后信号频谱的混叠。

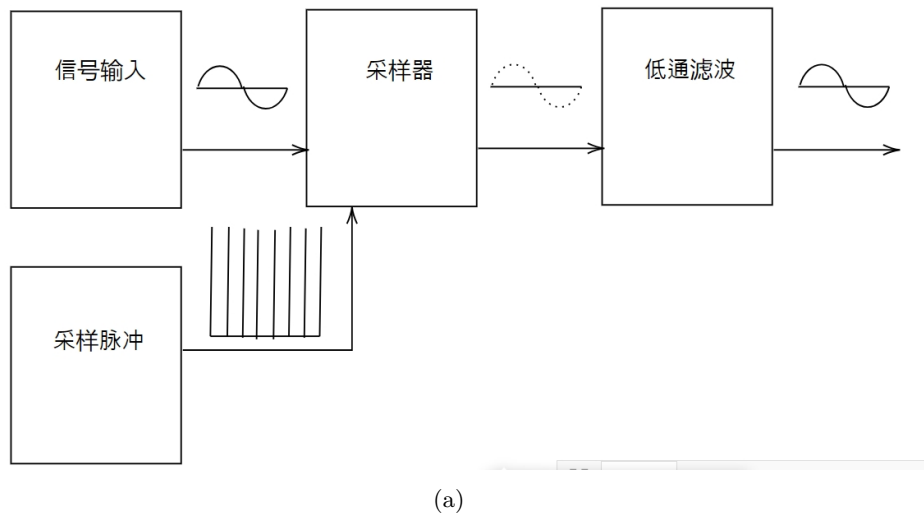


图 1: 信号的采样与恢复原理框图

四、实验内容与步骤

1. 输入信号为 $5KHz$ 的方波信号， $V_{p-p} = 2V$ ，观察抽样后离散方波信号的波形并用通过信号系统实验箱的低通滤波电路观察恢复后的信号波形。
2. 测出信号系统实验箱上的低通滤波电路的通频带见图 2，在不失真的条件下选择合适的输入信号的频率，并且选择合适的采样脉冲的频率进行抽样，再送到下述滤波电路中进行恢复记录并观察波形。

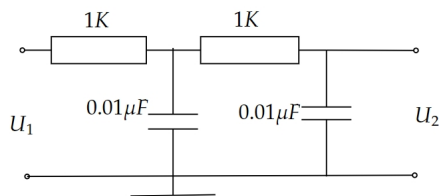


图 2: 无源低通滤波器

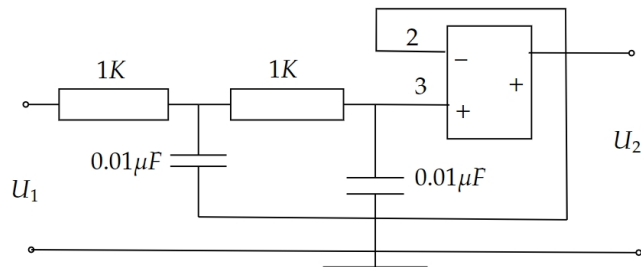


图 3: 有源低通滤波器

五、数据记录与处理

1. 输入信号为频率 1kHz，峰峰值为 $2V_{pp}$ 的方波。采样信号为频率可调的周期矩形脉冲。

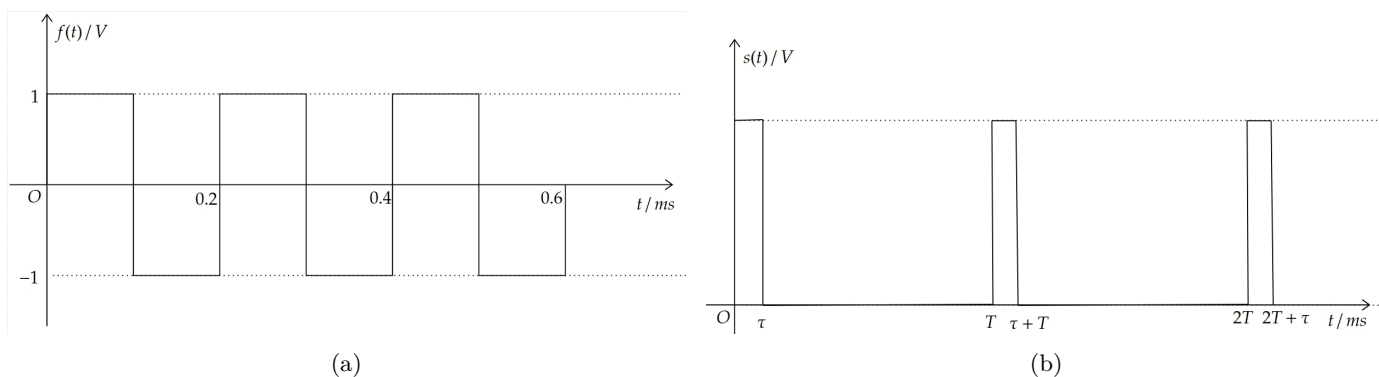


图 4: 输入方波波形以及采样信号，带宽 $B = 9\text{kHz}$

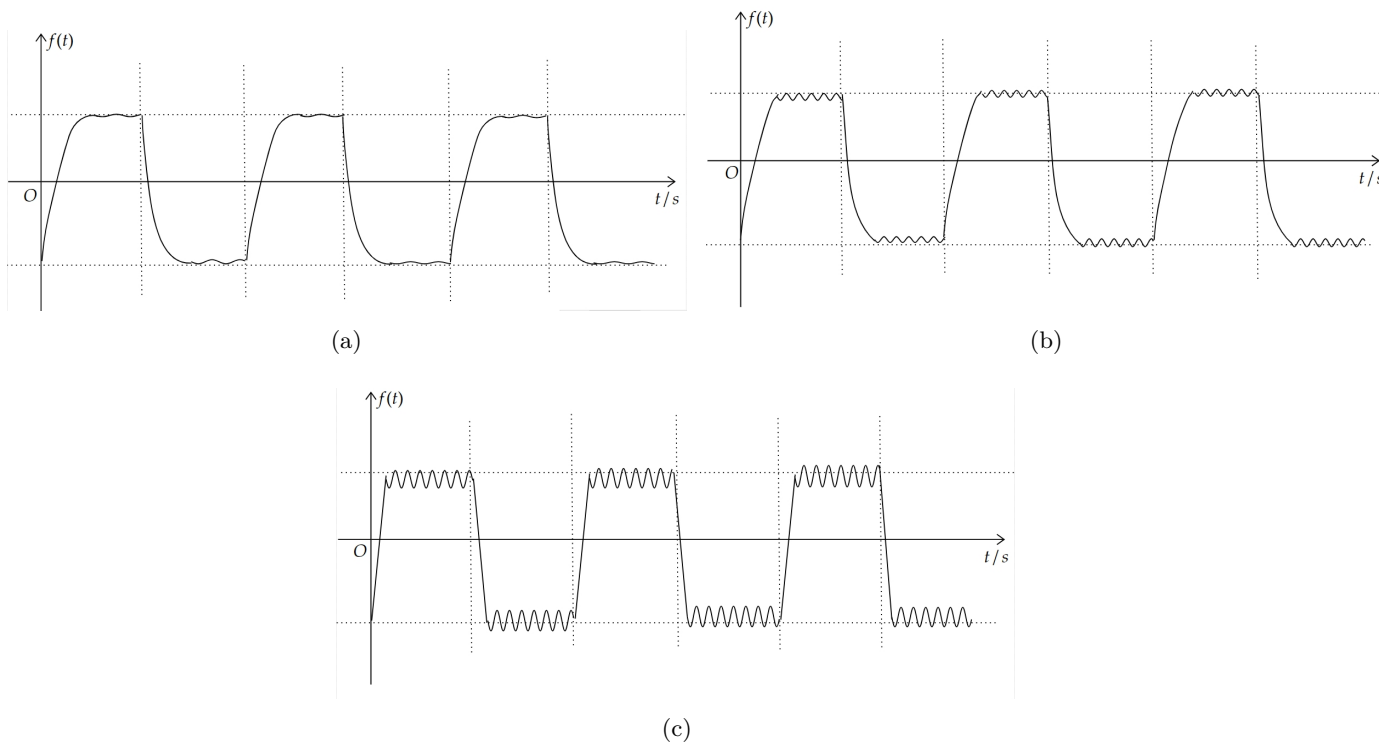


图 5: 恢复后的方波波形

- 选取抽样频率 $f_s = 30\text{kHz} > 2B$ ，得到恢复后的信号如图 5.a，其中恢复后的 $V_{pp} = 5.36\text{V}$, $f = 999.5\text{Hz}$ 。
- 选取抽样频率 $f_s = 18\text{kHz} = 2B$ ，得到恢复后的信号如图 5.b，其中恢复后的 $V_{pp} = 5.68\text{V}$, $f = 997.5\text{Hz}$ 。
- 选取抽样频率 $f_s = 10\text{kHz} < 2B$ ，得到恢复后的信号如图 5.c，其中恢复后的 $V_{pp} = 7.04$, $f = 992.1\text{Hz}$ 。

2. 输入信号为频率 1kHz，峰峰值为 $2V_{pp}$ 的三角波。采样信号为频率可调的周期矩形脉冲。

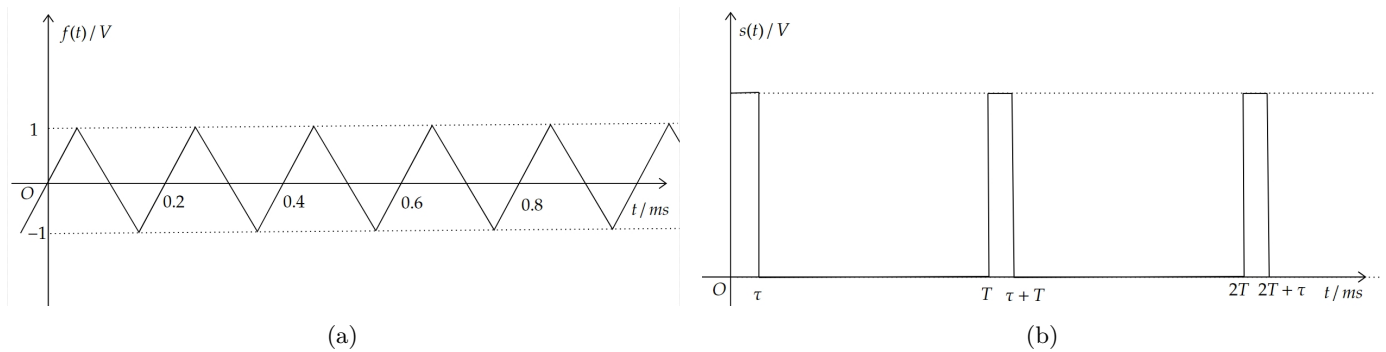


图 6: 输入三角波波形以及采样信号，带宽 $B = 3\text{kHz}$

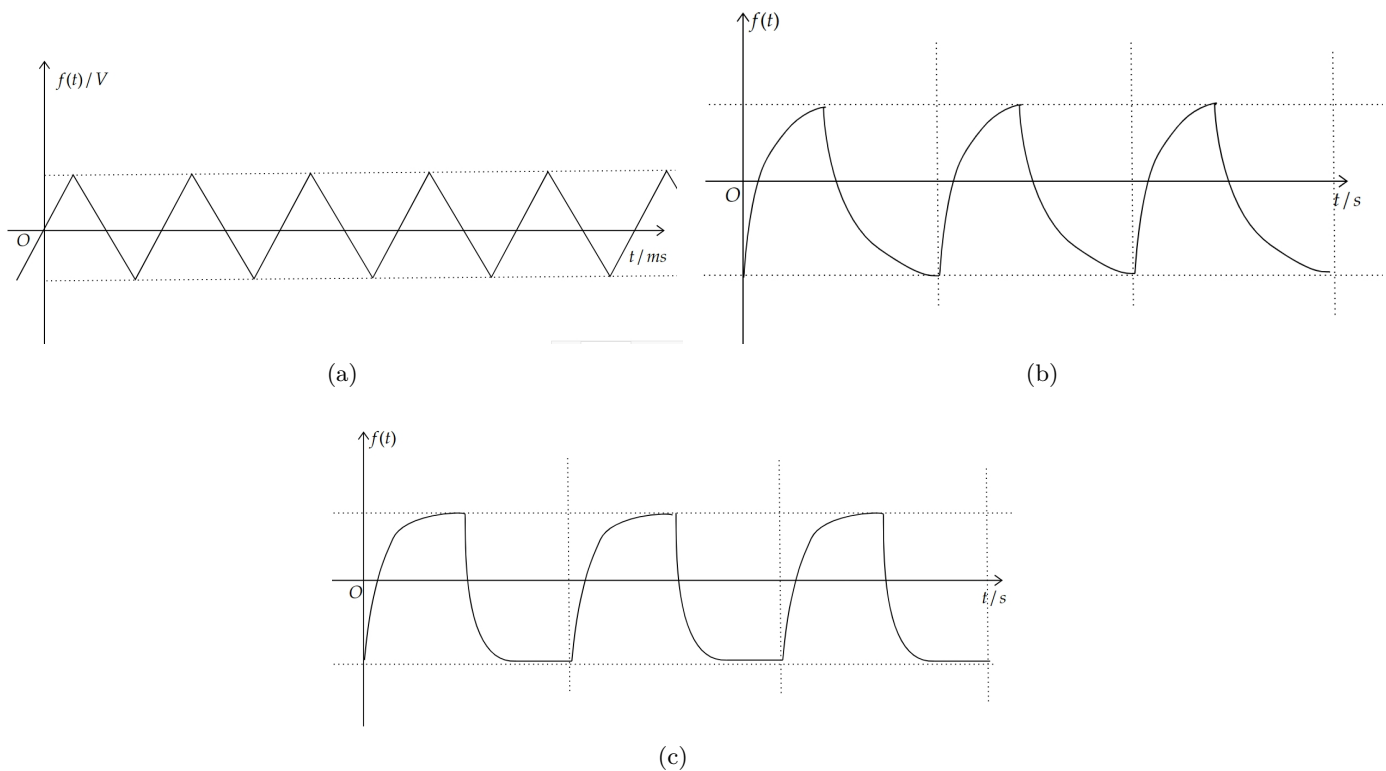


图 7: 恢复后的三角波波形

- (a) 选取抽样频率 $f_s = 25\text{kHz} > 2B$ ，得到恢复后的信号如图 7.a，其中恢复后的 $V_{pp} = 2.4\text{V}$, $f = 25.1\text{kHz}$ 。
- (b) 选取抽样频率 $f_s = 6\text{kHz} = 2B$ ，得到恢复后的信号如图 7.b，其中恢复后的 $V_{pp} = 8.48\text{V}$, $f = 6.081\text{kHz}$ 。
- (c) 选取抽样频率 $f_s = 4\text{kHz} < 2B$ ，得到恢复后的信号如图 7.c，其中恢复后的 $V_{pp} = 10.2\text{V}$, $f = 4.029\text{kHz}$ 。

3. 输入信号为频率 $1kHz$ ，峰峰值为 $2V_{pp}$ 的锯齿波。采样信号为频率可调的周期矩形脉冲。

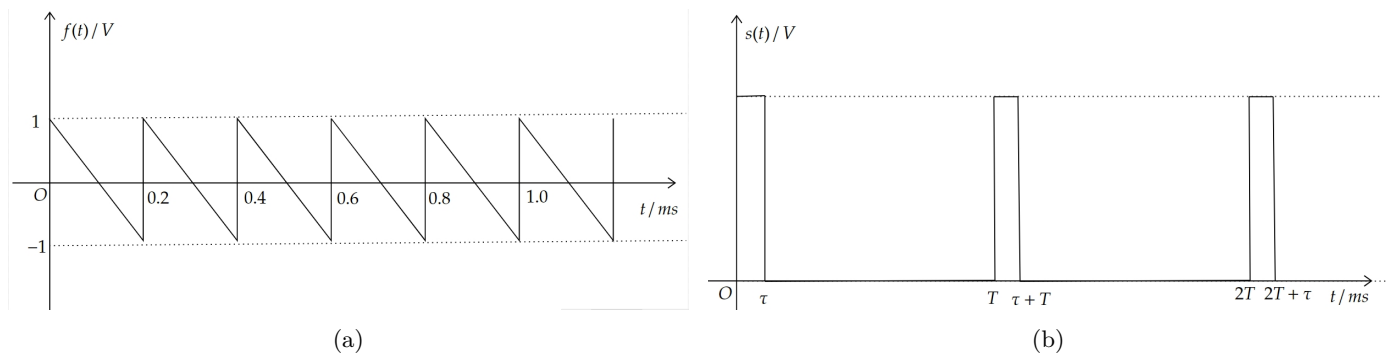


图 8: 输入锯齿波波形以及采样信号，带宽 $B = 10kHz$

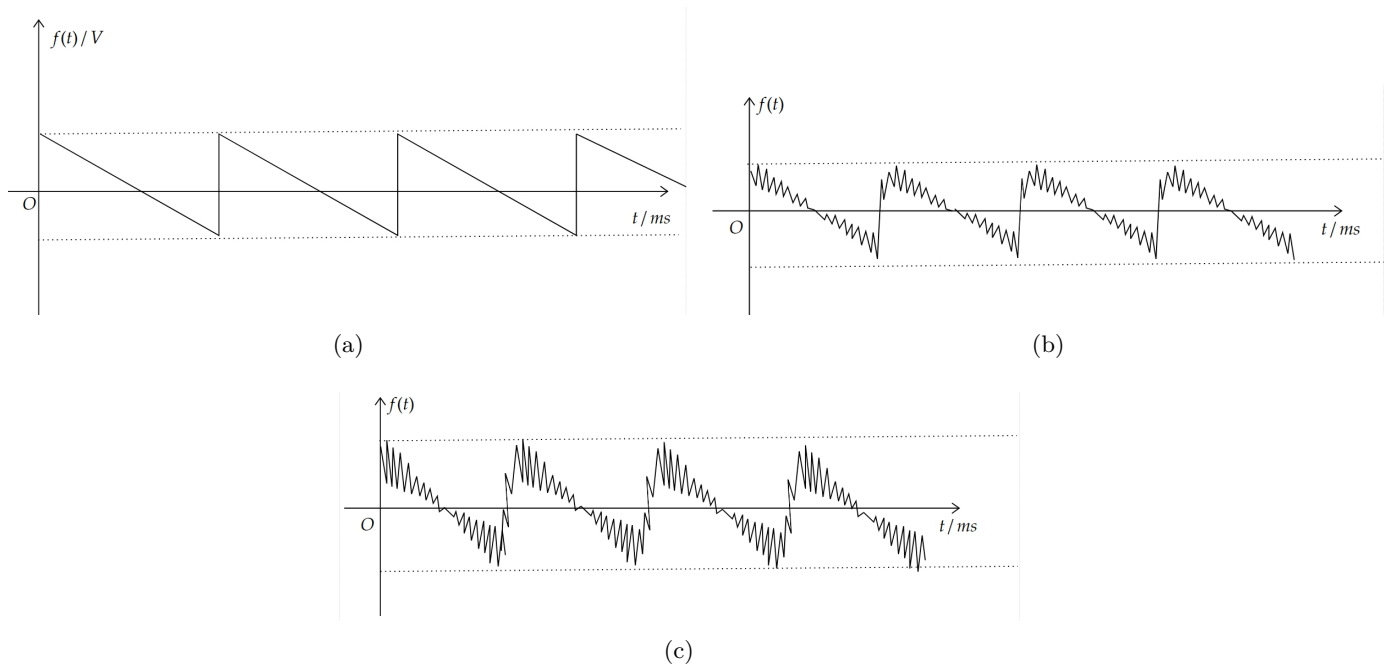


图 9: 恢复后的锯齿波波形

- (a) 选取抽样频率 $f_s = 130kHz > 2B$ ，得到恢复后的信号如图 9.a，其中恢复后的 $V_{pp} = 0.92V$, $f = 1.004kHz$ 。
- (b) 选取抽样频率 $f_s = 20kHz = 2B$ ，得到恢复后的信号如图 9.b，其中恢复后的 $V_{pp} = 1.14V$, $f = 990.2Hz$ 。
- (c) 选取抽样频率 $f_s = 4kHz < 2B$ ，得到恢复后的信号如图 9.c，其中恢复后的 $V_{pp} = 1.66V$, $f = 1.007kHz$ 。

六、实验误差分析

1. 在上述实验中，即使取 $f_s > 2B$ ，我们还是发现恢复后的信号与输入信号有一定差别，个别恢复信号的峰峰值和频率与输入信号差别较大。这或许是因为采样频率还是不够大，并没有达到远大于最高频率的两倍，依然造成部分采样信号的频谱混叠。

七、实验总结与思考

1. 当抽样频率 $f_s < 2B$ 时，此时复原后的函数失真较为严重，所得图像与 $f(t)$ 之间的误差较大。
2. 当抽样频率 $f_s = 2B$ 时，此时复原后的函数有一定失真，但比 $f_s < 2B$ 时要好很多，所得图像已经较为接近输入信号。
3. 当抽样频率 $f_s > 2B$ 时，此时复原后的函数几乎没有失真，所得图像与 $f(t)$ 最为接近，复原程度最好，最接近输入信号。从波形上已经非常接近输出信号，但是峰峰值数据以及频率依然和输入信号有一定差别。