

通信原理实验



学院：国际学院

班级：**2018215108**

学号：**2018212797**

姓名：赵君川

北京邮电大学实习报告

实践名称	通信原理实验		学 院	国际学院	
学生姓名	赵君川	班 级	2018215 108	学 号	201821279 7
实习时间	5-10 周	实习地点	沙河		
实 习 内 容					
学生 实习 总结	见附页				
实 习 成 绩 评 定	<p>遵照实习大纲并根据以下三方面按五级分制（优秀、良好、中等、及格、不及格）综合评定成绩：</p> <p>1、思想品德、实习态度、实习纪律等</p> <p>2、技术业务考核、笔试、口试、实际操作等</p> <p>3、实习报告、分析问题、解决问题的能力</p> <p>实习评语:</p> <p>实习成绩:</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>				

实验一

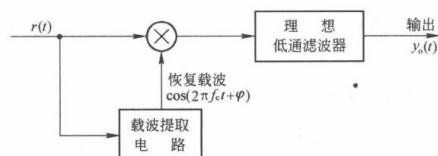
1. 实验名称：AM 的调制与解调

2. 实验目的：创建一个模拟 AM 的调制和解调系统。

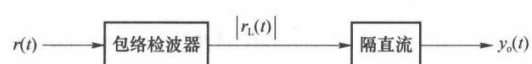
3. 实验原理：

DSB-SC AM 调制信号是利用均值为零的模拟基带信号 $m(t)$ 与正弦载波 $c(t)$ 相乘得到，其数学表达式为 $s(t) = m(t) \cdot c(t) = m(t)A_c \cos(\omega_c t + \psi)$ 。AM 调制信号是由 DSB-SC 信号叠加一个大载波形成的，其数学表达式为 $s(t) = [A + m(t)] \cdot c(t) = [A + m(t)]A_c \cos(\omega_c t + \psi)$ 。其中 DSB-SC AM 调制信号会发生相位偏转，因此只能用相干解调方法进行解调，而 AM 调制信号因为叠加了一个大载波防止相位偏转的出现，因此既可以用相干解调也可以用包络检波方式进行解调。

相干解调流程图：



包络检波流程图：



4. 实验过程及内容:

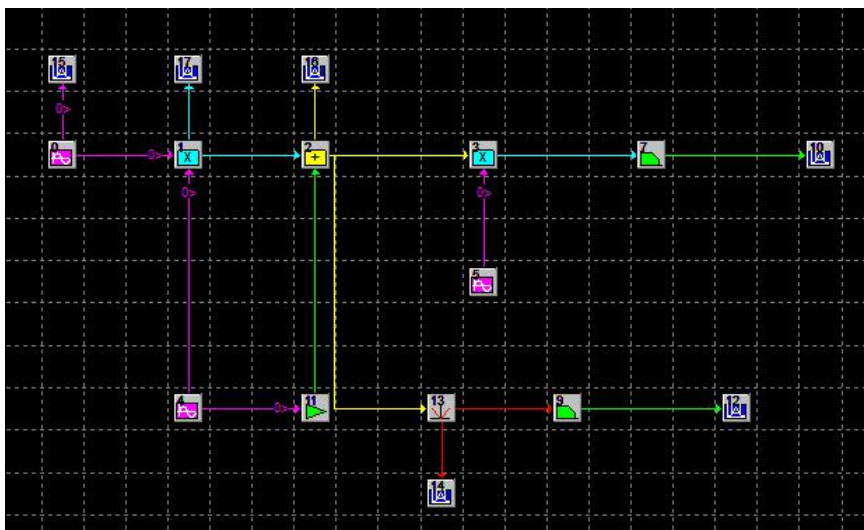
➤ 实验步骤:

1. 设置时间：采样点 1024，采样率 1000
2. 设置模拟信号源：正弦信号，频率 10 幅度 1v
3. 设置载波信号：正弦信号，频率 100 幅度 1v
4. 设置乘法器，得到 DSB-SC 信号
5. 对载波信号调幅处理
6. 设置加法器，在 DSB-SC 信号上增加载波，得到 AM 调制信号
7. 相干解调（同步解调）提取载波，设置恢复载波，设置模拟滤波器
8. 采用包络解调法，将调制的 AM 信号输入到整流器，设置模拟滤波器

➤ 参数设置:

1. 对载波信号的调幅处理：由于此实验要完成 AM 调制信号，因此增益 A 应大于模拟信号源的最大值即 $\max |m(t)|$ （此时满足调制系数 $\alpha < 1$ ）。因此 A 应大于 1，此处选择 A=2。
2. 对两种解调方式模拟滤波器参数设置：由于原始信号的频率为 $f = 10\text{Hz}$ ，为将解调后的原始信号保留并滤去高频部分，此处的截止频率应选择 $f = 10\text{Hz}$ 。

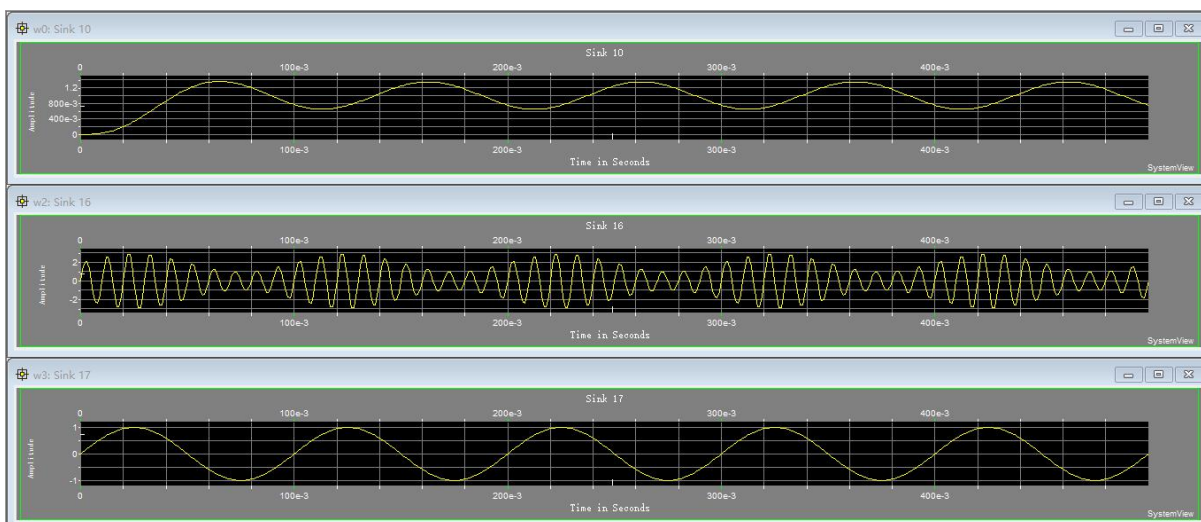
➤ 模块连接图：



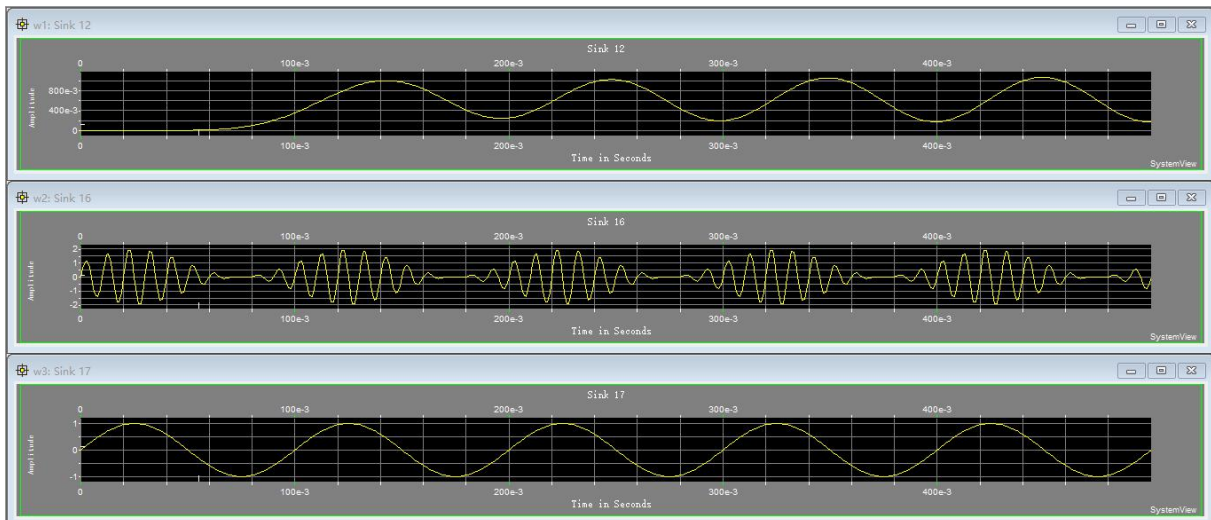
➤ 实验结果（包括记录的实验相关时域波形、频谱图等）：

注：上、中、下分别为解调后，调制后，原始信号的时域波形

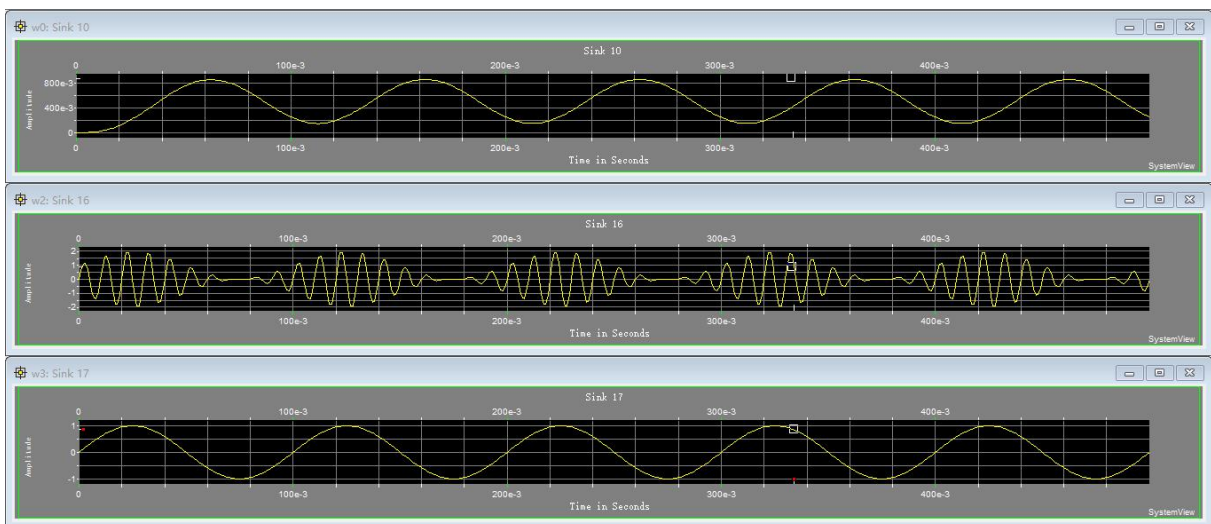
调制系数小于 1 的调制和相干解调



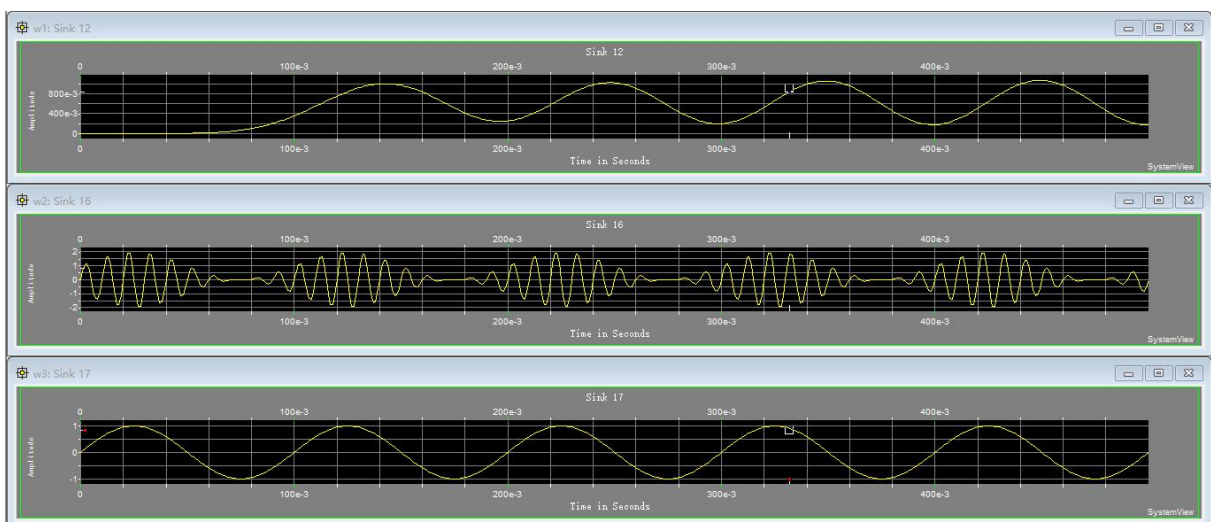
调制系数小于 1 的调制和包络检波解调



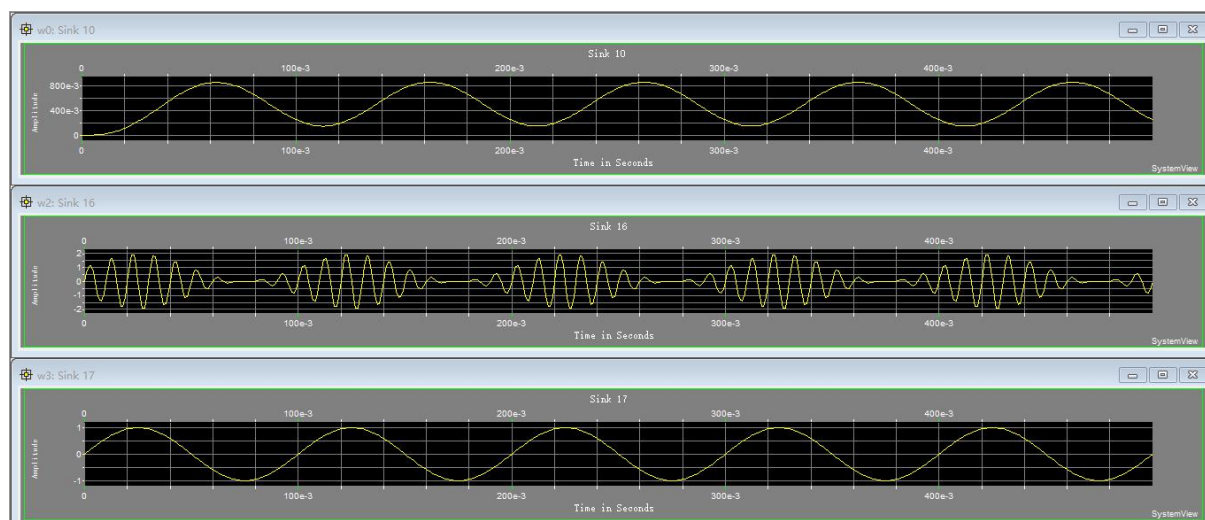
调制系数等于 1 的调制和相干解调



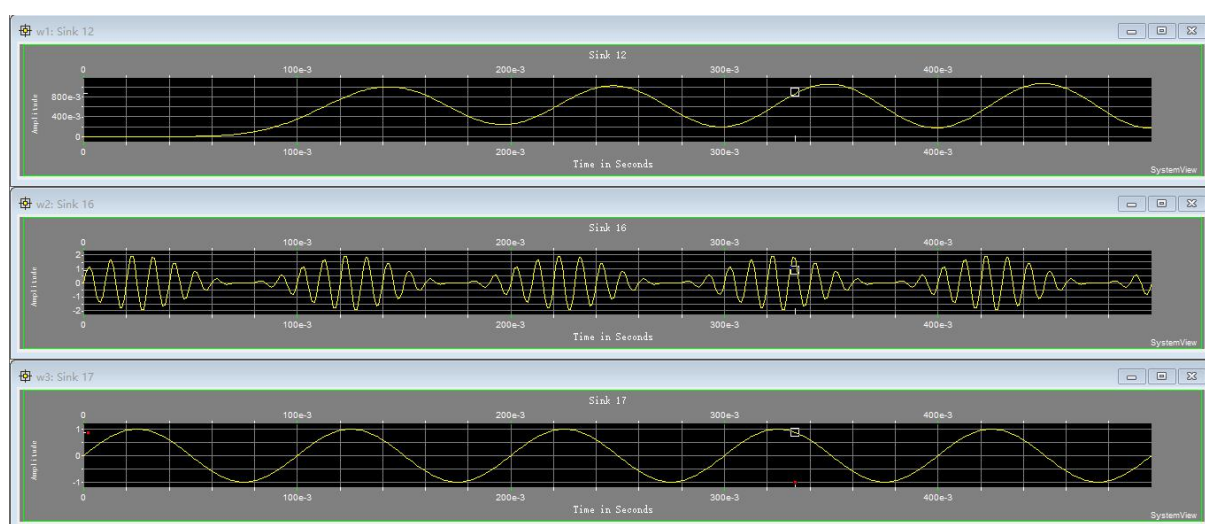
调制系数等于 1 的调制和包络检波解调



调制系数大于 1 的调制和相干解调



调制系数大于 1 的调制和包络检波解调

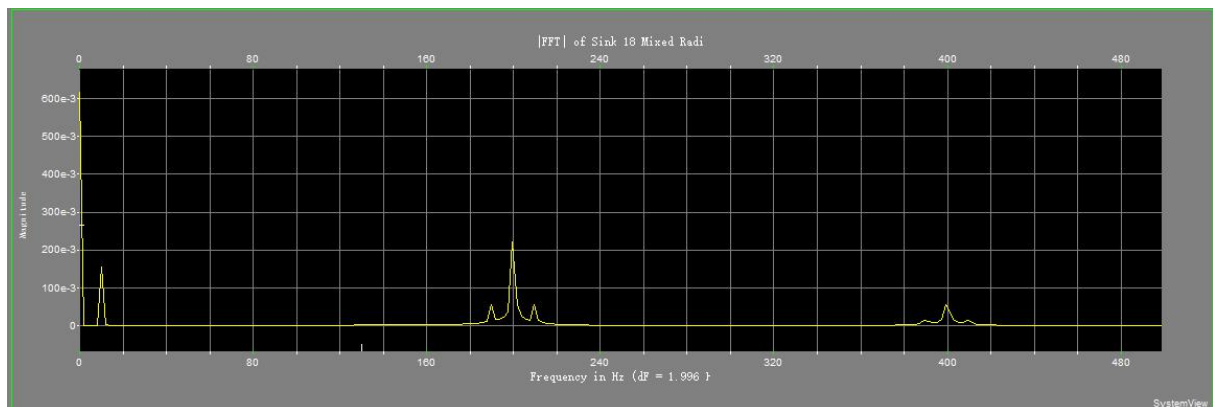


➤ 实验分析：

从时域效果来说，调制系数对于相干解调的结果并无影响。对于包络检波解调来说，调制系数小于 1 时效果最好，等于 1 和大于 1 时效果稍差，因为此时会发生相位偏转，无法获得准确包络。

由于此实验的原始信号较为特殊（sin 信号），因此即使调制系数大于 1 时，效果也仍然不错。观察包络检波后的频谱发现，由于相位翻转并未影响低频部分（10Hz），因此仍然可通过低通滤波器得到较好的原始信号。（下

图为经过包络检波后的频域图)



根据图中结果显示，10Hz 以内的部分仍然保留，因此可以通过低通滤波的方式恢复出原始信号。

5. 思考题

1. 比较同步检波和包络检波的优缺点

同步检波的优点为适用性广，DSB-SC AM 与 AM 调制都可使用同步检波（即相干检波的方式）。同步检波的缺点为难以确定其解调时恢复载波与调制时的载波同步（即无法精确提取出载波）。解决方案为在调制时加一个小导频，但此时需要额外分配一部分功率，复杂且不实用。

包络检波的优点为无需提取载波，且更容易实现。包络检波的缺点为必须满足调制系数 $\alpha < 1$ 时才可使用，有限制性。

2. 若调制系数大于 1，是否可以用包络检波来还原信号

不可以，此时由于 $A < \max |m(t)|$ ，调制信号会发生相位反转，用包络检波无法还原信号。

3. 调制系数分别“<1”，“>1”，“=1”时，如何计算已调信号的调制系数？

假设已调信号为

假设已调信号为 $A'(t)$ ，调制系数为 $\alpha = \frac{A'(t)_{\max} - A'(t)_{\min}}{A'(t)_{\max} + A'(t)_{\min}}$ 。

（推导过程如下图所示）

调制系数 $\alpha = \frac{|m(t)|_{\max}}{A}$
(通过原始信号的方式求得)
 $[A + m(t)] \cdot \cos 2\pi f_c t = A'(t) \cdot \cos 2\pi f_c t$
↓
已调信号, 用 $A'(t)$ 表示
 $A'(t) = A + m(t)$
对于平衡来说: $|m(t)|_{\max} = -|m(t)|_{\min}$
 $|m(t)|_{\max} = \frac{1}{2} (|m(t)|_{\max} - |m(t)|_{\min})$
 $= \frac{1}{2} [(A'(t))_{\max} - A] - [(A'(t))_{\min} - A]$
 $= \frac{1}{2} [(A'(t))_{\max} - (A'(t))_{\min}]$
 $A = \frac{1}{2} [A + |m(t)|_{\max} + A + |m(t)|_{\min}]$
 $= \frac{1}{2} [(A'(t))_{\max} + (A'(t))_{\min}]$
 $\alpha = \frac{|m(t)|_{\max}}{A} = \frac{A'(t)_{\max} - A'(t)_{\min}}{A'(t)_{\max} + A'(t)_{\min}}$

6. 实验总结

DSB-SC 信号可用相干解调方式得到原始信号，但由于会产生相位反转现象，不可用包络检波的方式进行解调。AM 信号为防止相位反转现象的产生，

应当加上一个大载波分量，既可用相干解调也可用包络检波方式解调。运用模拟滤波器时可以适当提高滤波器阶数以获取更好的结果。

7. 对本实验的收获和建议

1. 进一步掌握 DSB-SC 调制信号，AM 调制信号的调制过程，解调方式及其性质
2. 进一步理解不同解调方式的试用场景

实验二

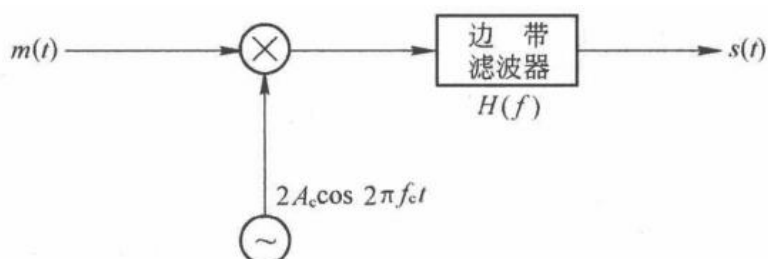
1. 实验名称：SSB 的调制与解调

2. 实验目的：创建单边带的调制和解调系统。

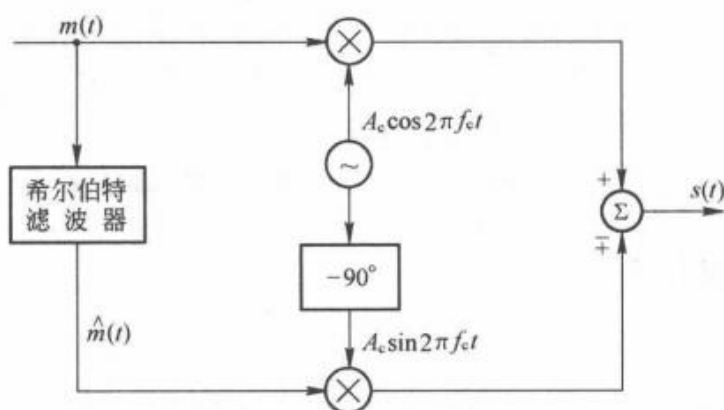
3. 实验原理：

单边带（SSB）调制可以去除双边带中的一个边带来传输，进而达到节约信号传输中对信道资源的占用。

调制流程图为：



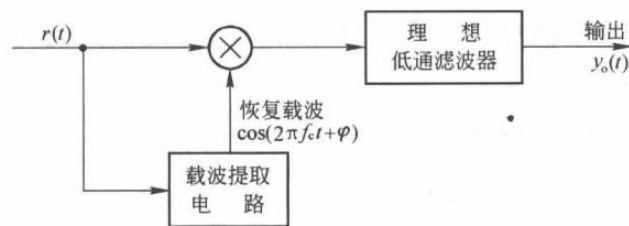
产生单边带信号的另一种方式（借助希尔伯特相移网络）



上边带调制信号的时域表达式为： $s_{\text{上}}(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t - A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t$

下边带调制信号的时域表达式为： $s_{\text{下}}(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t + A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t$

解调方式：相干解调得到原始信号



4. 实验过程及内容：

➤ 实验步骤：

1. 设置时间：采样点 1024，采样率 1000
2. 设置模拟信号源：输出 0 sin；输出 1 cos（信号） 频率 = 10 幅度 1v
3. 设置载波信号：正弦信号，频率 100 幅度 1v
4. 设置乘法器，设置反相器，设置加法器，得到上边带调制
5. 设置乘法器和载波，设置低通滤波器，完成解调系统
6. 设置下单边，完成解调系统

➤ 参数设置：

此实验无设置参数的地方，但需自己构建另一正交信号的通信仿真。

根据上边带下边带的公式可知：

cos 信号上边带调制信号的时域表达式为：

$$s_{\text{上}}(t) = \cos 2\pi f t \cos 2\pi f_c t - \sin 2\pi f t \sin 2\pi f_c t$$

cos 信号下边带调制信号的时域表达式为：

$$s_{\text{下}}(t) = \cos 2\pi f t \cos 2\pi f_c t + \sin 2\pi f t \sin 2\pi f_c t$$

sin 信号上边带调制信号的时域表达式为：

$$s_{\text{上}}(t) = \sin 2\pi f t \cos 2\pi f_c t + \cos 2\pi f t \sin 2\pi f_c t$$

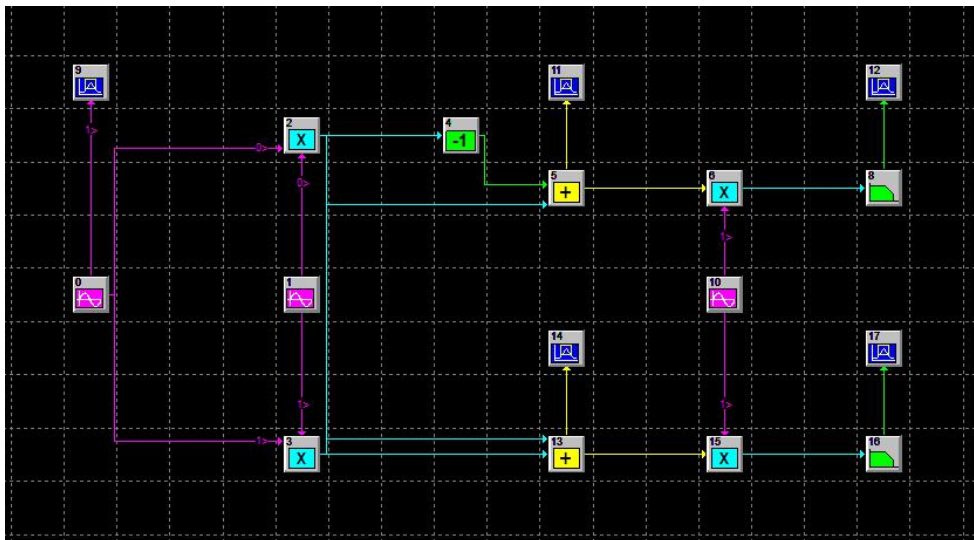
sin 信号下边带调制信号的时域表达式为：

$$s_{\text{下}}(t) = \sin 2\pi f t \cos 2\pi f_c t - \cos 2\pi f t \sin 2\pi f_c t$$

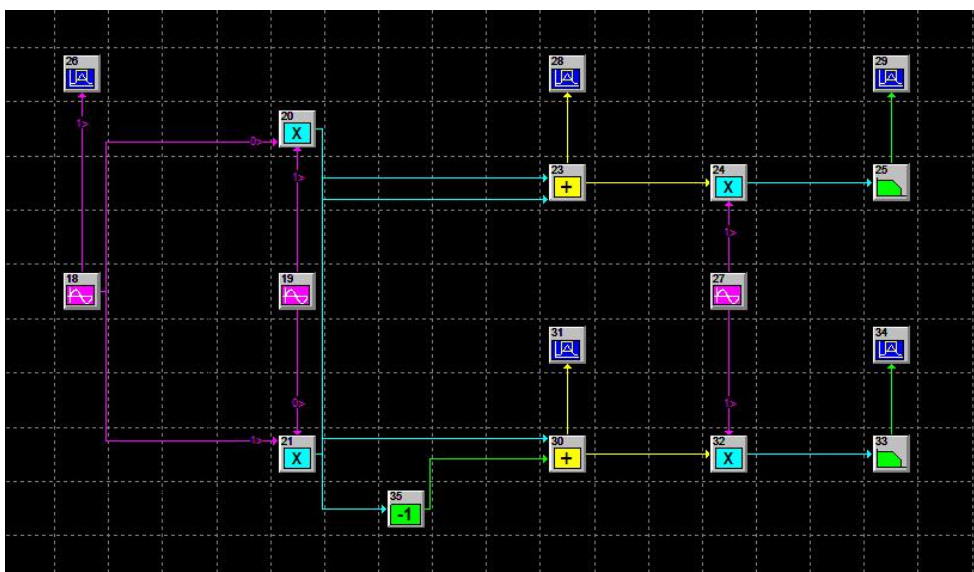
据此构建调制信号系统框图（见下一部分）

➤ 模块连接图：

原始信号为 cos 信号的模块连接图：

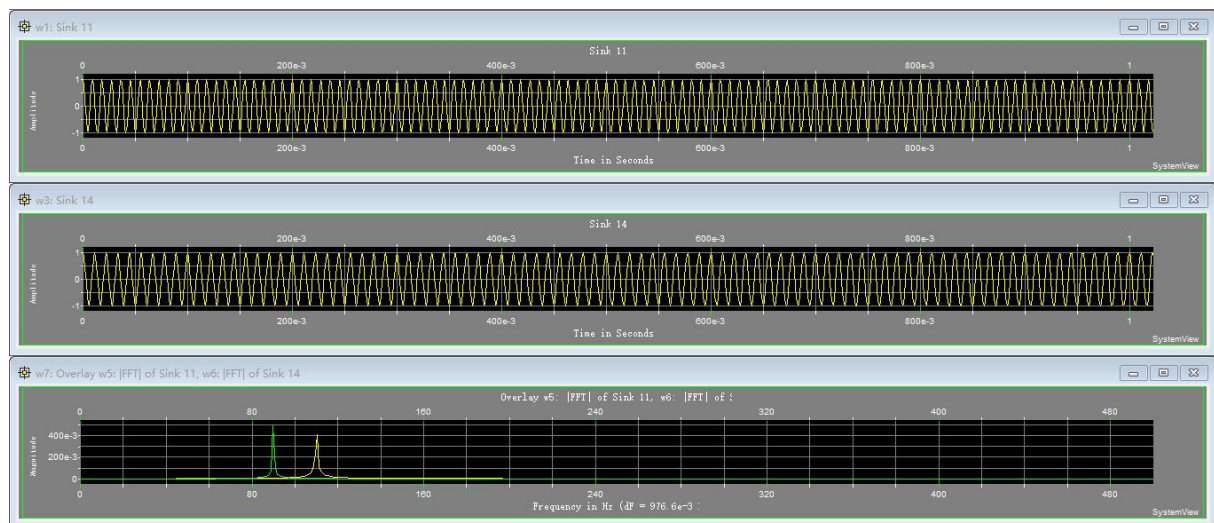


原始信号为 sin 信号的模块连接图：



➤ 实验结果（包括记录的实验相关时域波形、频谱图等）：

以信号源为 \cos 信号的情况为例：

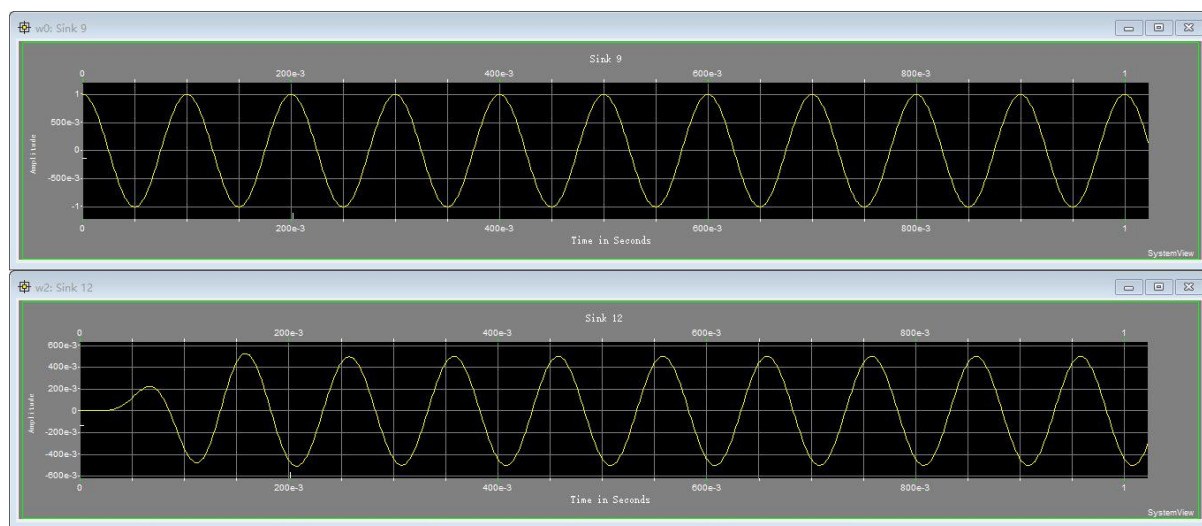


注：上、中、下分别为上边带调制时域波形，下边带调制时域波形，上下边带频谱图（黄色为上边带，绿色为下边带）

➤ 实验分析：

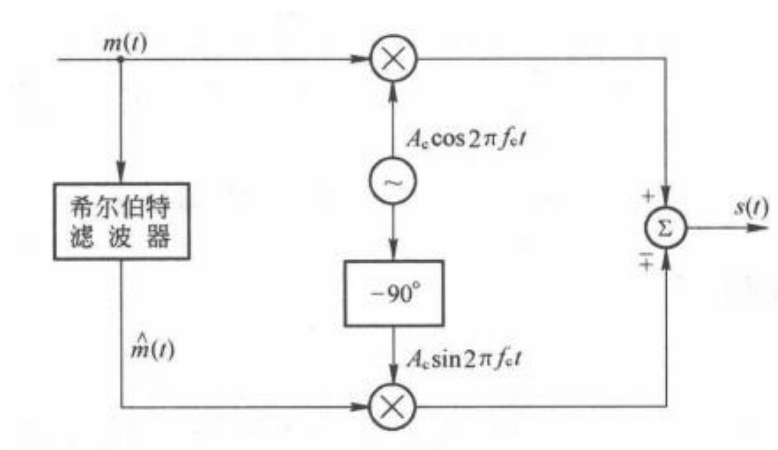
将原始信号通过希尔伯特网络可得到单边带调制系统。由于此时只需要一个载频信号以及一个源信号即可通过相移网络产生其希尔伯特变化，做到了系统的复用，更加经济有效。将单边带调制通过相干解调后（即乘以同步恢复载波），可将原始信号成功恢复。（接下页）

以下为原始信号以及解调后恢复信号：由此可见解调后可恢复出原始信号。观察其幅度为 0.5 （即 1/2 的原始信号的幅度），这是由于解调后得到的并不是原始信号而是 $\frac{A_c}{2}m(t)$ ，此时 $A_c=1$ 因此得到的是 1/2 的原始信号。



5. 思考题

1. 分析调制系统是上边带还是下边带，如何实现另一边带的调制系统？

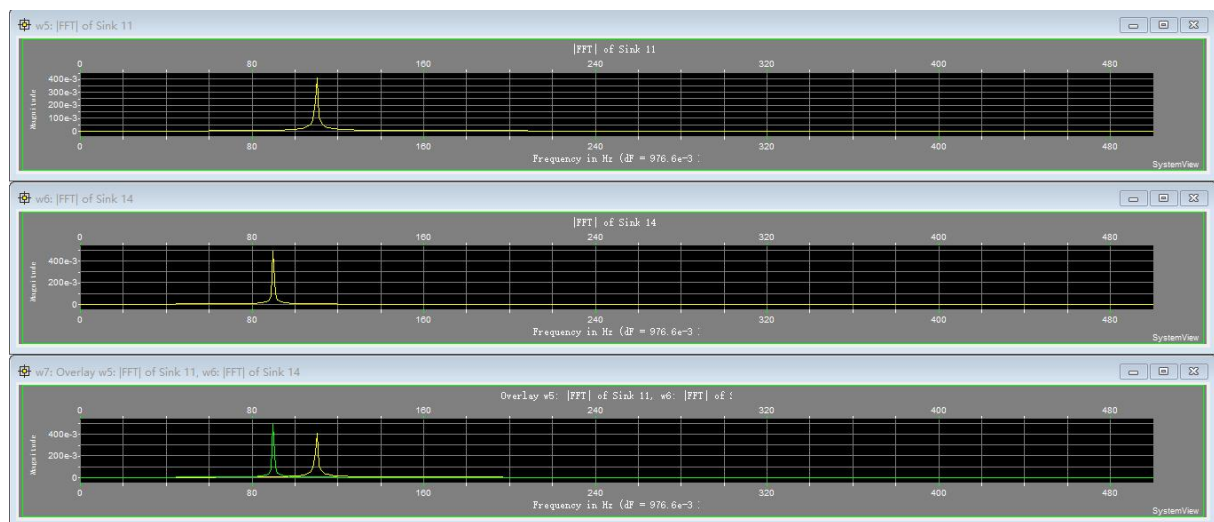


根据公式可知，当框图中的加法器两项为相减关系时，调制系统是上边带；相加关系时，调制系统是下边带。

由于上下边带的产生方式非常相近只是前后两项一个为相加一个为相减，

因此可以利用下边带或上边带调制系统来直接产生另一个边带的调制系统。例如，如果已有下边带的调制系统，则在希尔伯特那一路的输出信号上加一个反相器（乘以-1）然后再和另一路一起连到加法器既可产生上边带的调制系统，另一种情况与此法相同。

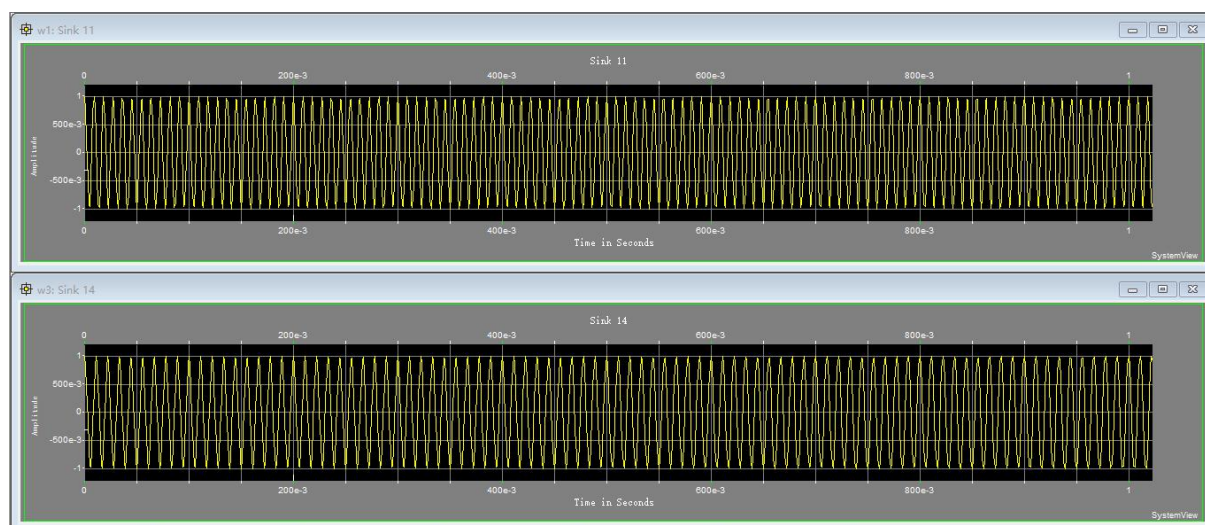
2. 分析观察信号的时域，频域波形特点



注：上、中、下分别为上边带调制系统的频谱图，下边带调制系统的频谱图，上边带和下边带调制系统的频谱图（放在一起）

由于原始信号的频率为 $f = 10\text{Hz}$ ，此信号的频谱图应在 $f = 10\text{Hz}$ 以及 $f = -10\text{Hz}$ 处有值，上边带为 $f = 10\text{Hz}$ ，下边带为 $f = -10\text{Hz}$ （实信号：具有共轭对称性）。再与载波（ $f = 100\text{Hz}$ ）相乘后上边带频谱图应在 $f = 100 + 10 = 110\text{Hz}$ 处有值，下边带频谱图应在 $f = 100 - 10 = 90\text{Hz}$ 处有值。此结果与实验结果相同。（接下页）

分析其时域波形



注：上、下分别为上边带调制时域波形，下边带调制时域波形。

根据一下公式：

cos 信号上边带调制信号的时域表达式为：

$$s_{\text{上}}(t) = \cos 2\pi f t \cos 2\pi f_c t - \sin 2\pi f t \sin 2\pi f_c t$$

cos 信号下边带调制信号的时域表达式为：

$$s_{\text{下}}(t) = \cos 2\pi f t \cos 2\pi f_c t + \sin 2\pi f t \sin 2\pi f_c t$$

我们可得到上边带调制时域表达式为 $\cos(90 \cdot 2\pi t)$ ，下边带调制的时域表达式为 $\cos(110 \cdot 2\pi t)$ 。由图可以看出，相同时间内下边带调制波形的周期数更多，与实验结果相符，与频域结果也相符。

6. 实验总结

通过 SSB 单边调制方法可减少频率资源的占用。SSB 单边调制可通过希尔伯特网络产生，并且此系统既可产生上边带也可产生下边带，比较有效。通过相干解调法可恢复出原始信号。

7. 对本实验的收获和建议

1. 进一步掌握 SSB 调制信号，SSB 调制信号的调制过程，解调方式以及其性质
2. 进一步掌握 SSB 上边带与下边带调制的区别以及运用希尔伯特网络产生调制信号，掌握系统的复用技巧产生上下边带
3. 对软件的正余弦信号的产生方式（何时为 \sin ，何时为 \cos ）更加熟悉

实验三

1. 实验名称：FM 的调制与解调

2. 实验目的：创建 FM 的调制解调仿真系统

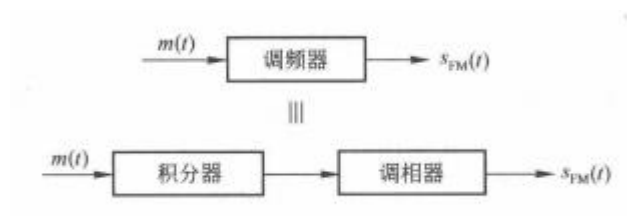
3. 实验原理：

FM 调制是一种角度调制的方法，其特点为占有较宽的信道带宽，该系统是以牺牲带宽来换取高的抗噪能力。

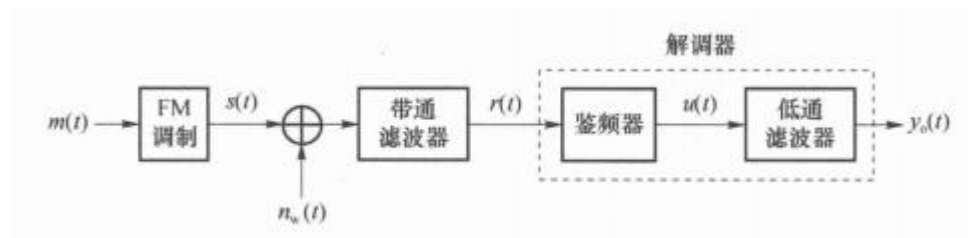
FM 调制信号的时域表达式为： $s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)]$

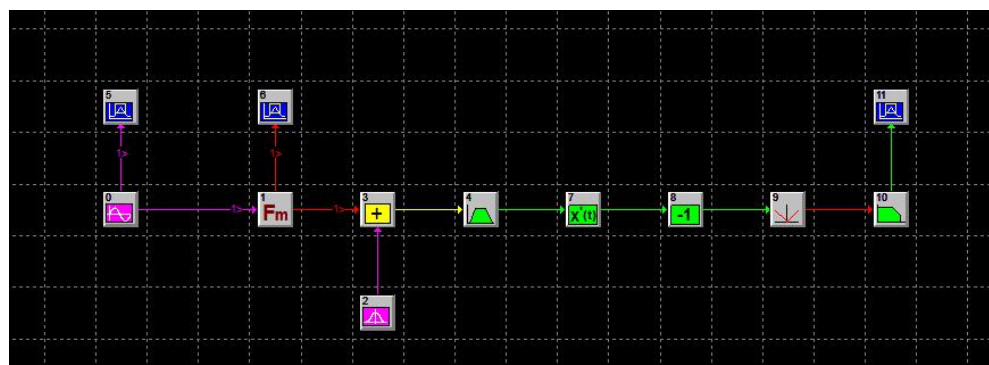
其中， $\varphi(t) = 2\pi K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau$

FM 调制信号产生的流程图：



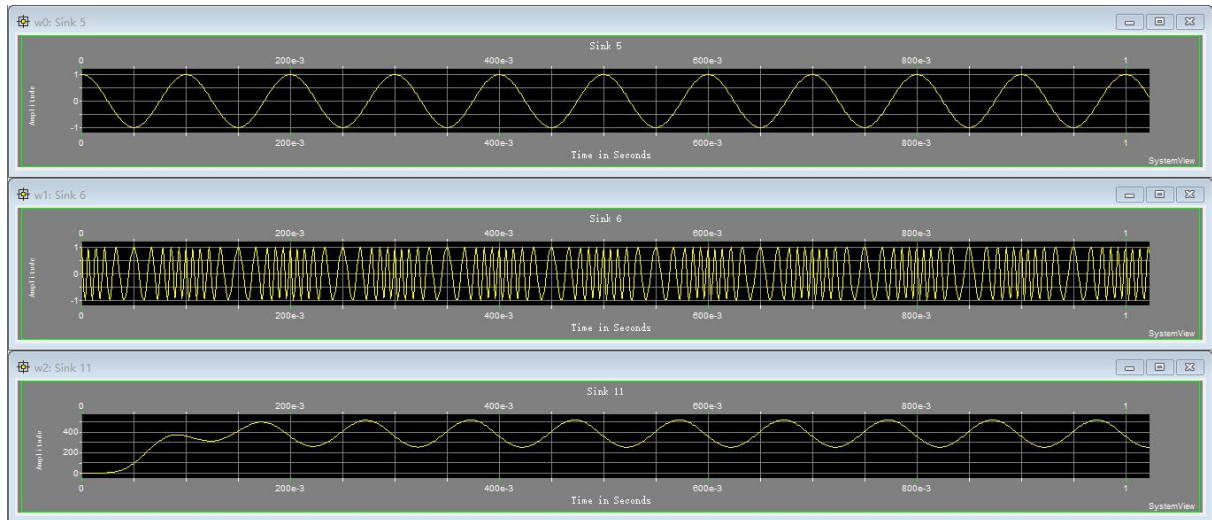
FM 调制信号解调的流程图：



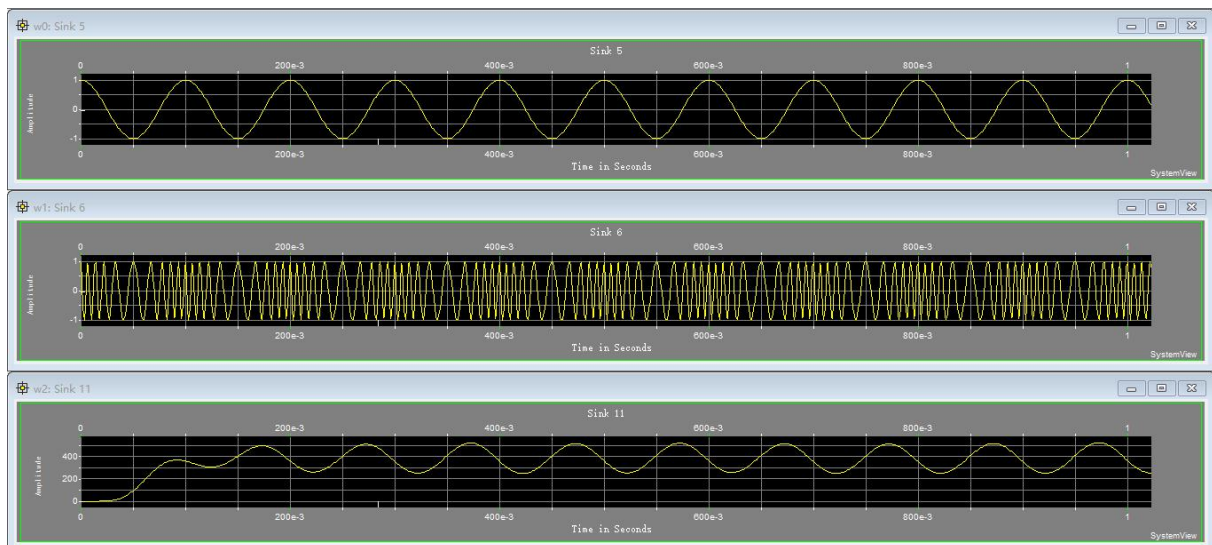


➤ 实验结果（包括记录的实验相关时域波形、频谱图等）：

注：上、中、下分别为原始信号，FM 调制信号，解调信号时域波形
不加噪声时：



加造噪声时：



➤ 实验分析：

根据上图可知，不论加不加噪声，FM 调制解调系统都可较好的复原出原始信号。这是由于经过 FM 系统后，其信噪比增益远大于线性调制时的信噪

比增益。此时信噪比增益为： $G = \frac{6\beta^2(1+\beta)}{C_m}$ ，因此有无噪声对系统影响较小。

5. 思考题

计算 FM 信号的带宽和调制指数：

此实验中的调制系数为 $K_f = 50$ ，根据卡松公式计算调制信号带宽：

$$B = 2 \cdot (1 + K_f \frac{\max |m(t)|}{f_m}) \cdot f_m = 2 \cdot 6 \cdot 10 = 120 \text{Hz}。$$

6. 实验总结

FM 信号调制过程中首先选择调制指数 K_f ，进而产生合适的 FM 调制信号。

FM 解调过程为首先通过微分器得到调频调相信号，再通过反向器和整流器取其包络，最后通过低通滤波器恢复出原始信号。

FM 调制的抗噪声能力很好，加噪声后再通过系统与不加噪声时基本无明显差别。

7. 对本实验的收获和建议

1. 进一步掌握 FM 调制信号，FM 调制方式实现，FM 解调方式实现
2. 巩固利用卡松公式计算 FM 调制信号的带宽以及频域占用范围
3. 进一步熟悉 FM 调制信号的抗噪声性能

实验四

1. 实验名称：抽样定理

2. 实验目的：观测比较输入和输出数据

3. 实验原理：

1. 低通信号的抽样定理：一个频带受限于 $[0, f_u]$ 的基带信号 $x(t)$ 可以唯一地被采样周期 T_s 不大于 $\frac{1}{2f_u}$ 的采样序列值所决定。即当采样频率大于等于 $2f_u$ 时可以无失真的恢复成原来的基带信号。

2. 带通信号的抽样定理：

带通信号受限于 $[f_L, f_H]$ ，其信号带宽为 $B = f_H - f_L$ ，且有 $f_H = (m + k)B$ ，

$m = \lceil \frac{f_H}{f_H - f_L} \rceil - k$ ， k 为不超过 $\frac{f_H}{f_H - f_L}$ 的最大正整数，

此时最低不失真采样频率 $f_{s\min} = \frac{2f_H}{k} = 2B(1 + \frac{m}{k})$

4. 实验过程及内容：

➤ 实验步骤：

实验一：

1. 设置时间：采样点 1024，采样率 1000

2. 设置 3 个模拟信号源：

a. 输出正弦信号 频率 = 10 幅度 1v

- b. 输出正弦信号 频率 = 12 幅度 1v
- c. 输出正弦信号 频率 = 14 幅度 1v
- 3. 设置加法器
- 4. 设置采样冲击信号
- 5. 滤掉高频部分

实验二：

- 1. 添加一个冲激信号
- 2. 设置低通滤波器，滤掉高频
- 3. 加入噪声
- 4. 设置采样器
- 5. 设置保持器
- 6. 设置低通滤波器恢复信号
- 7. 设置带通信号，加入噪声
- 8. 设置采样器
- 9. 设置带通滤波器

➤ 参数设置：

实验一：

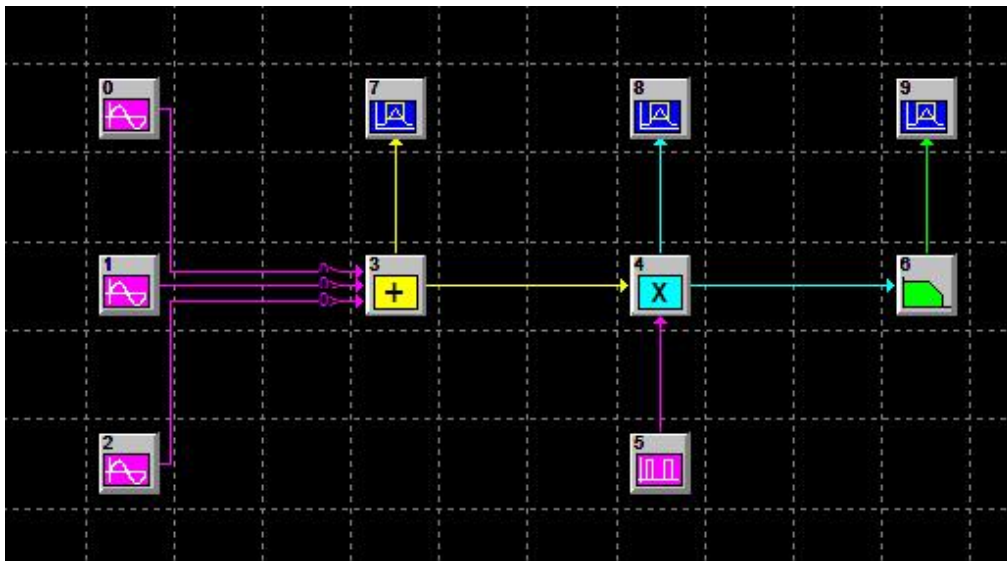
- 1. 采样频率：根据基带信号采样定律，由于源信号（三者叠加） $f_m = 14Hz$ ， $f_s \geq 2f_m = 28Hz$ 。此处选择 $f_s = 50Hz$ 。
- 2. 低通滤波器：为恢复出原始信号，此处选择滤波器的截止频率为 $f_c = 18Hz$ 。

实验二：

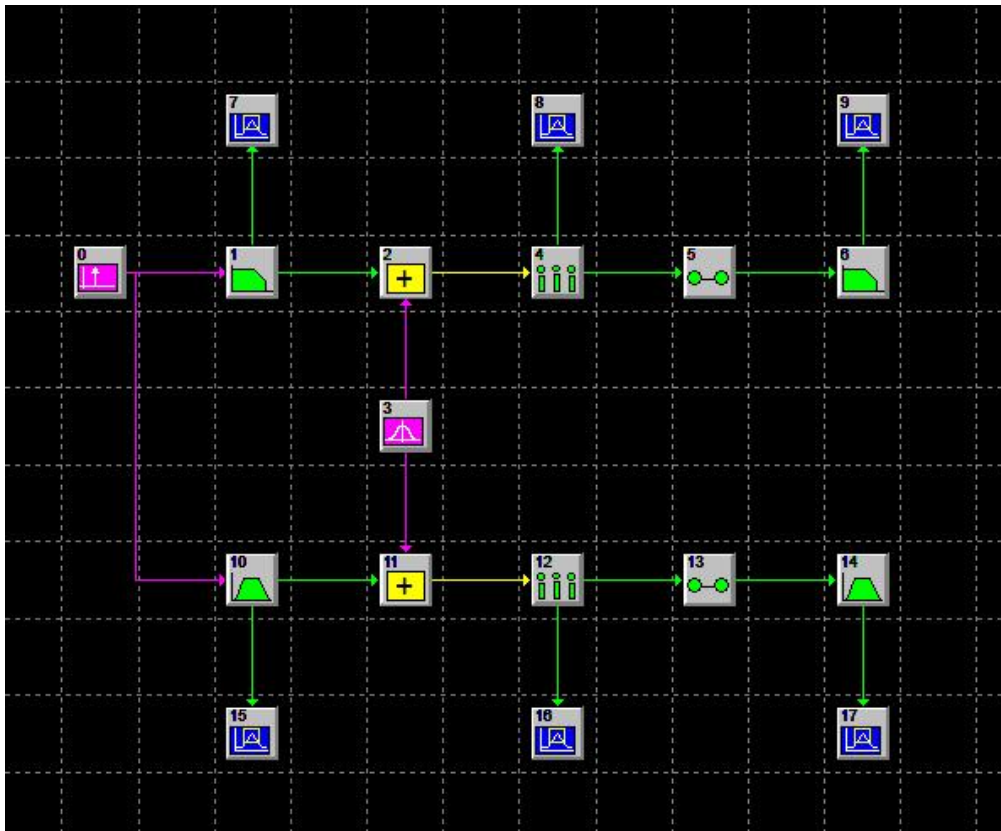
1. 基带信号采样频率：由于冲激响应的频域范围从 $(-\infty, \infty)$ ，通过截至频率为 10Hz 的低通滤波器后变为带宽为 10Hz 的基带信号。根据基带信号的采样定律， $f_s \geq 2f_m = 20\text{Hz}$ 。此处选择 $f_s = 30\text{Hz}$ 。
2. 带通信号采样频率：根据带通信号采样频率， $\frac{2f_H}{m+1} \leq f_s \leq \frac{2f_L}{m}$ ， $0 \leq m \leq N-1$ 。此时若取 $m=1$ ，则 $220 \leq f_s \leq 400$ 。此处选择 $f_s = 300\text{Hz}$ 。
3. 带通滤波器：为恢复出原始信号，低截止频率为 200Hz，高截至频率为 220Hz。

➤ 模块连接图：

实验一模块连接图：



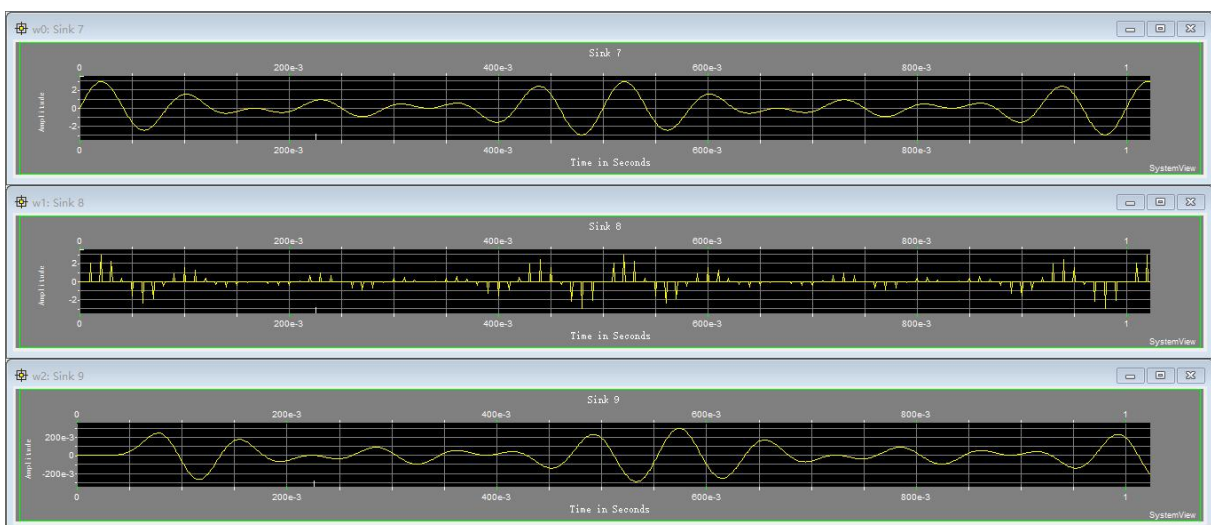
实验二模块连接图：



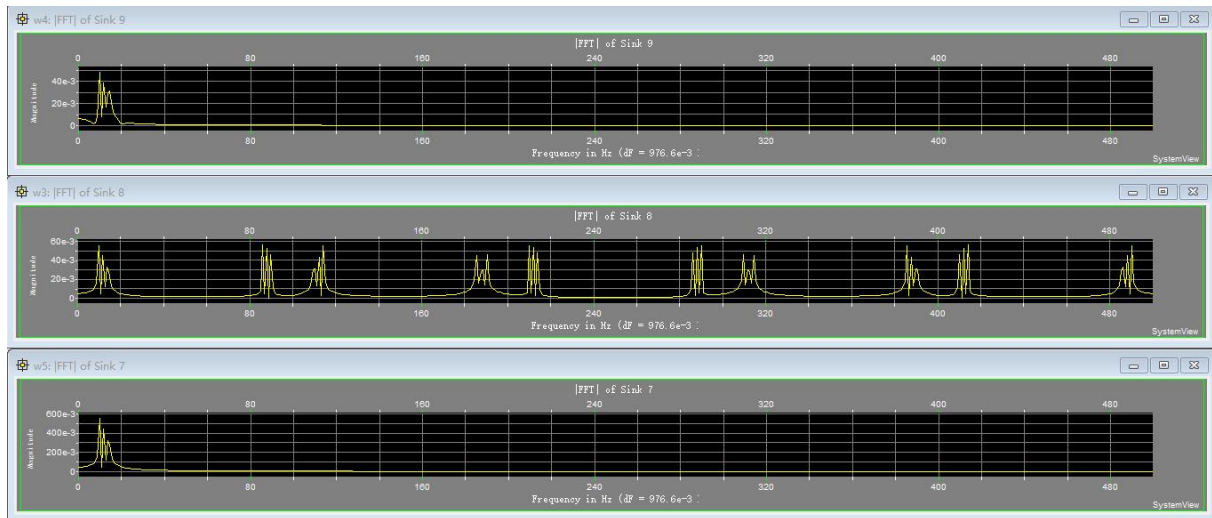
➤ 实验结果（包括记录的实验相关时域波形、频谱图等）：

实验一结果图：

注：上、中、下分别为原始信号，采样信号，经过低通滤波器后信号
时域波形



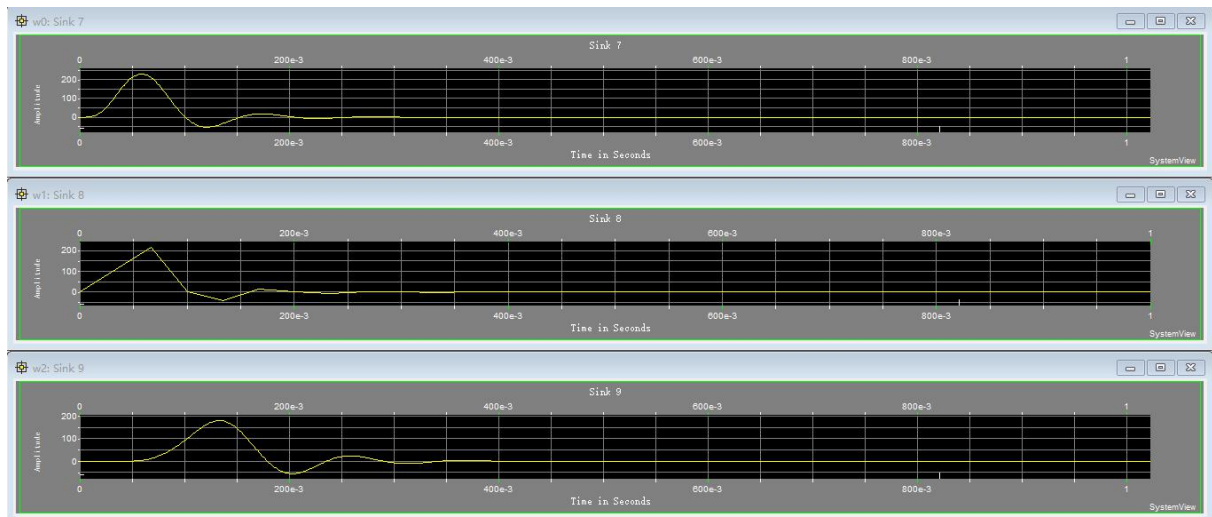
频域波形



实验二结果图：

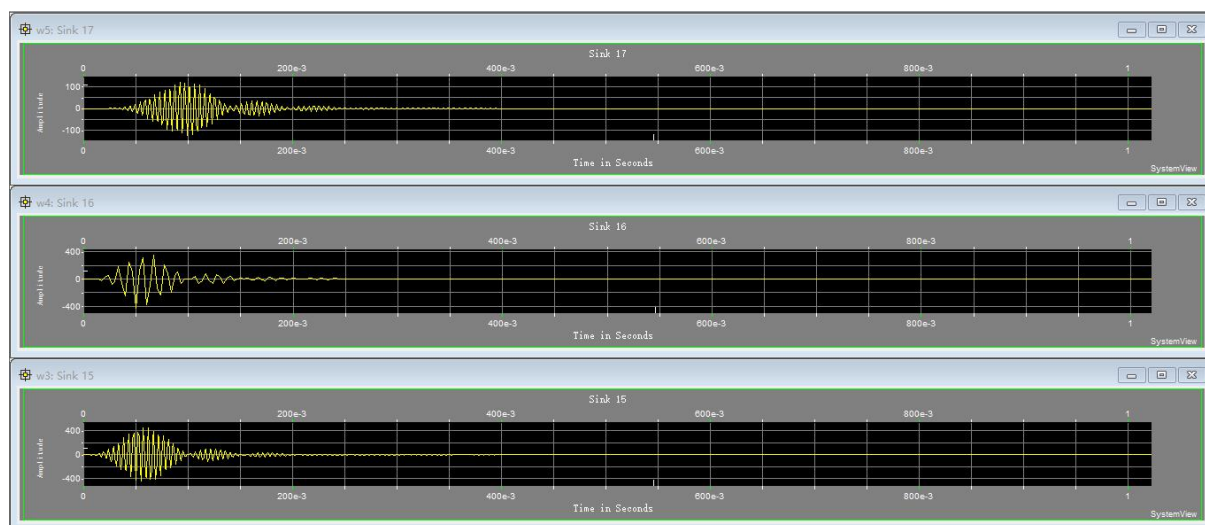
基带信号的采样定理验证：

注：上、中、下分别为原始信号，采样信号，经过低通滤波器后信号波形



带通信号的采样定理验证：

注：上、中、下分别为原始信号，采样信号，经过低通滤波器后信号波形



➤ 实验分析：

实验一：

观察实验一基带信号时域波形，此时以 $f_s \geq 2f_m$ 的频率进行采样，经过低通滤波器后可恢复出原始信号。观察其频域波形，采样后原始信号在频域进行周期性扩展（延拓），其中周期为 f_s 。经过低通滤波器后，保留了原始信号的频域部分，因此进行傅里叶反变换后得到原始时域波形。

实验二：

观察实验二基带信号时域波形，此时 $f_s \geq 2f_m$ 的频率进行采样，经过低通滤波器后可恢复出原始信号。

观察实验二带通信号时域波形，此时 $\frac{2f_H}{m+1} \leq f_s \leq \frac{2f_L}{m}$ 的频率进行采样，经过带通滤波器后可恢复出原始信号，但此时由于带通滤波器无法达到理想状态（即截至频率处快速上升、下降），因此输出信号与原始信号相比略有失真。

5. 思考题

本节无思考题

6. 实验总结

对于基带信号来说，采样频率只需满足 $f_s \geq 2f_m$ 即可无失真的恢复出原始信号。对于带通信号来说，采样频率需要满足 $\frac{2f_H}{m+1} \leq f_s \leq \frac{2f_L}{m}$ ， $0 \leq m \leq N-1$ 才可以无失真的恢复出原始信号。除此之外，在确定采样频率时可以适当调大，以便滤波器更容易设计。

7. 对本实验的收获和建议

1. 进一步了解基带信号采样定理以及带通信号采样定理
2. 区分基带信号采样定理与带通信号采样定理
3. 控制采样频率，不可以无限制的调大