

通信原理 实验 3 调频

一、实验目的

- 1、掌握利用 VCO 作调频器产生调频信号的方法；
- 2、掌握采用普通鉴频器进行调频解调的方法；
- 3、了解调频输出信号的波形及频谱。

二、实验仪器

- 1、余弦信号发生器
- 2、频率调制器
- 3、白高斯噪声信道
- 4、鉴频器
- 5、包络检波器
- 6、信号波形图
- 7、信号频谱图

三、实验的理论基础

1. 直接调频：

直接产生调频信号的方法之一是设计一振荡器，使它的振荡频率随输入电压而变。当输入电压为零时，振荡器产生一频率为 f_0 的正弦波；当输入基带信号的电压发生变化时，该振荡频率作相应变化。FM 调频信号产生原理框图如下图 3.1 所示：



图 3.1 利用 VCO 作调频器产生 FM 调频信号原理框图

2. 正弦基带信号的角度调制信号的频谱：

考虑基带信号是一正弦音频信号，对于调频或调相，其表达式为：

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)]$$

其中 β 是调制指数，可能是调频指数或调相指数。将 $s(t)$ 进行一定的变形（过程可以参考相

关教材），可以得到 $s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_c J_n(\beta) \cos[2\pi(f_c + n f_m)t]$ ，从该式中可以看出，当调制信号

是频率为 f_m 的正弦信号时，其调频信号含有以 $f_c + n f_m (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 的频率分量，因而

已调信号的带宽应是无穷的。然而，对应于大的 n 值的 $f_c + nf_m$ 分量的幅度是很小的，可忽略。

3. 利用普通鉴频器进行调频解调：

调频信号的解调方法之一是先将调频信号变为调幅调频信号（从调频到调幅的变换通过微分器来实现），使该调幅调频信号的幅度比例于调频信号的瞬时频率，然后利用一调幅解调器取其包络，恢复出原基带信号，解调原理图如下图 3.2 所示：

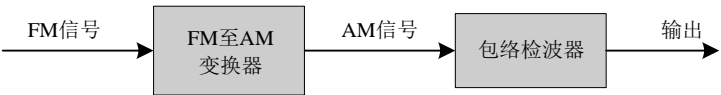


图 3.2 利用普通鉴频器进行调频解调

四、实验内容及步骤

1、按照实验模型图 3.3 中所示从器材库中选取器材进行连接：本实验通过搭建 FM 调制解调实验来观察待调制信号波形及频谱、FM 调制输出信号的波形及频谱和解调输出信号波形，加深对 FM 调制解调原理的理解。

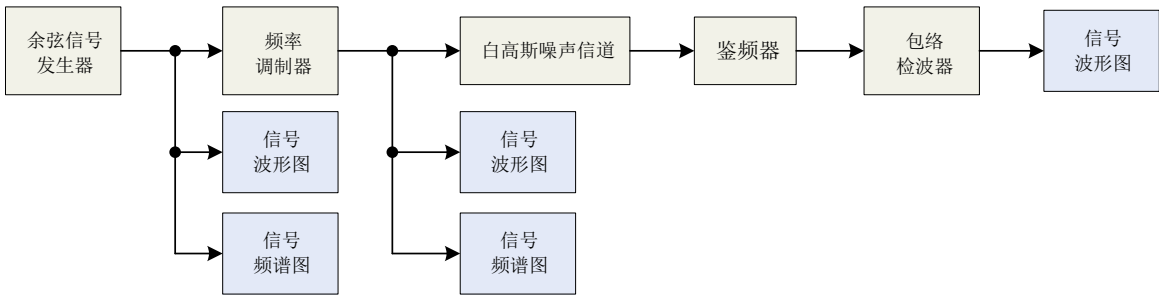


图 3.3 FM 调制解调实验框图

2、设置器材参数：（关于器材使用方法可以参考器材的参数说明）

（FM 信号调制解调实验）

关于调制输出信号频率分量的分析请参考实验的理论基础部分第 2 小节的内容。

余弦信号发生器(待调制信号):余弦信号的最大幅度值设置为 1,信号的频率设置为 $f_m=20\text{Hz}$,信号的终止时间设置为 0.2s,信号的初始相位设置为 0,采样频率设置为 1000Hz;

频率调制器:载波信号的最大幅度值设置为 1,信号的频率设置为 $f_c=200\text{Hz}$,调频指数设置为 10,信号的终止时间设置为 0.2s,采样频率设置为 1000Hz;

白高斯噪声信道:信噪比设置为 50dB,信源比特长度值为默认即可;

鉴频器:无;

包络检波器:无;

信号波形图:波形的颜色均设置为蓝色;

信号频谱图:采样频率均设置为 1000。

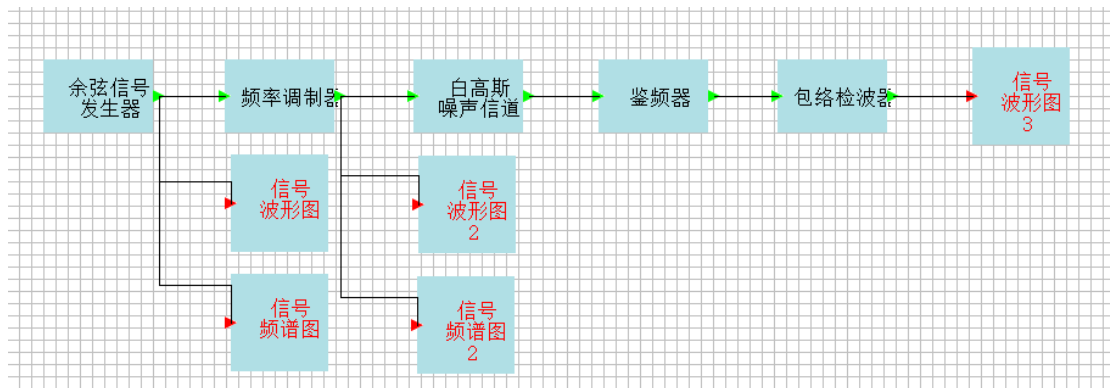
3、以上述仿真参数运行仿真实验模型，然后改变调频指数后重新仿真观察输出结果：

- （1）观察待调制信号频谱以及调制输出信号频谱，并根据理论分析验证实验结果；
- （2）观察对比待调制信号波形与解调输出信号波形，理解 FM 调制解调原理。

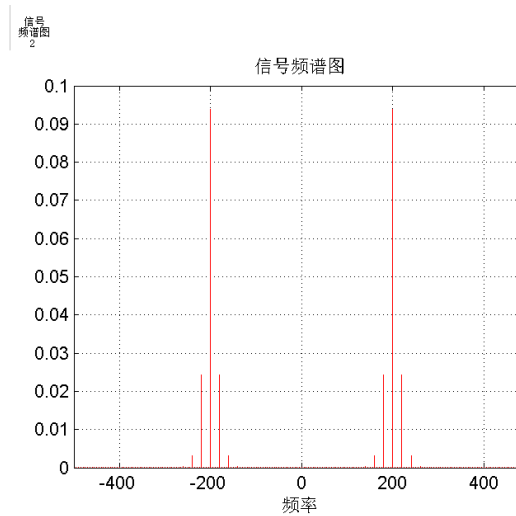
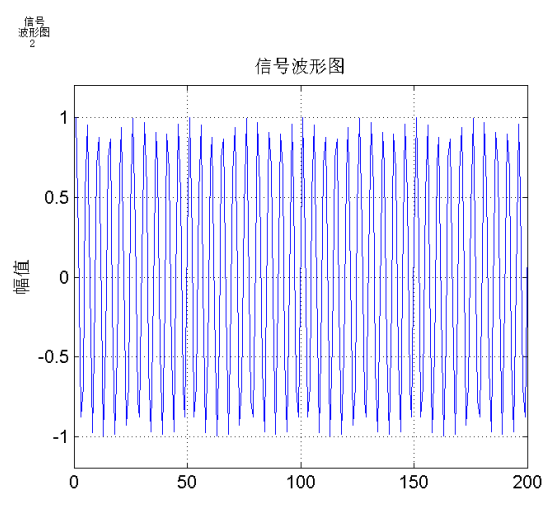
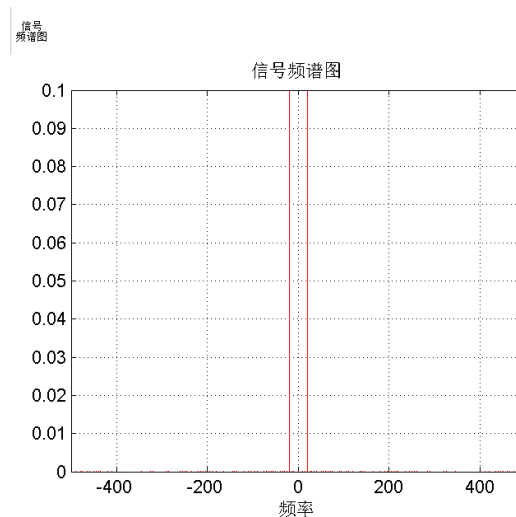
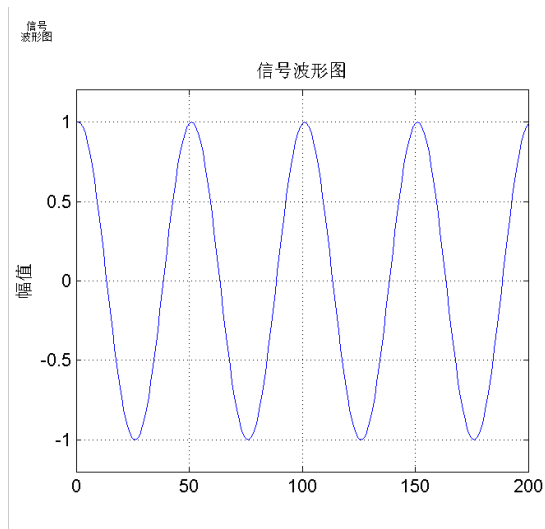
五、实验结果及分析

1、完成实验的仿真，并填写观察结果（调频指数对调制效果的影响，调制输出信号的频谱与待调制信号、载波信号的频率的关系）；

实验框图

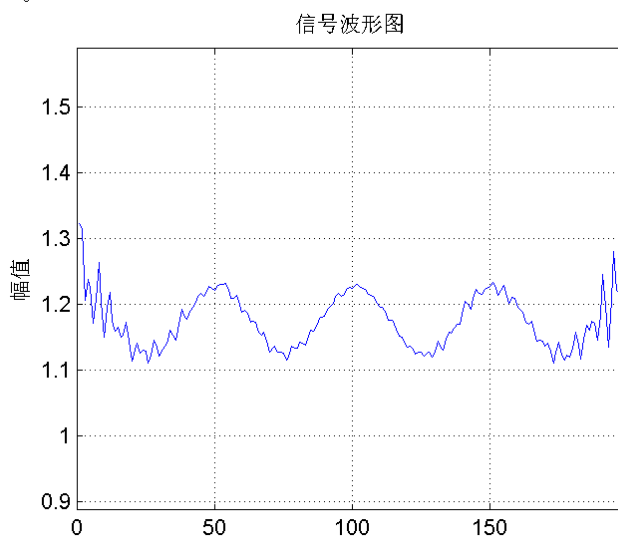


$\beta = 10$ 时 各级输出波形、频谱图



$\beta=10$ 时 解调输出信号波形图

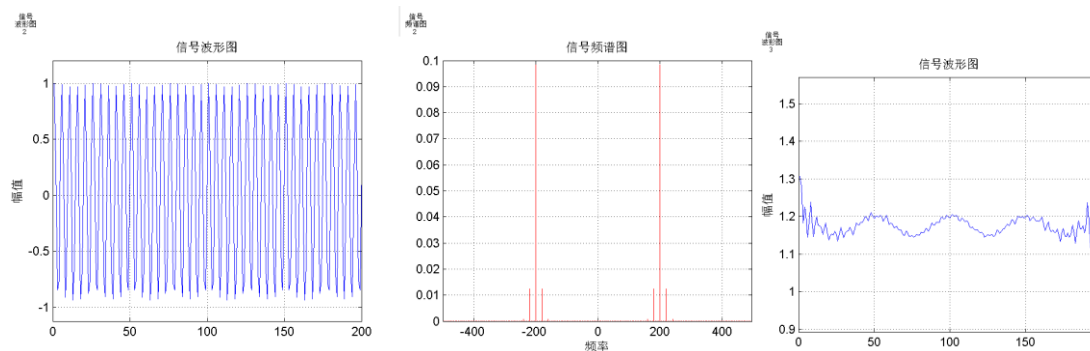
信号
波形图
3



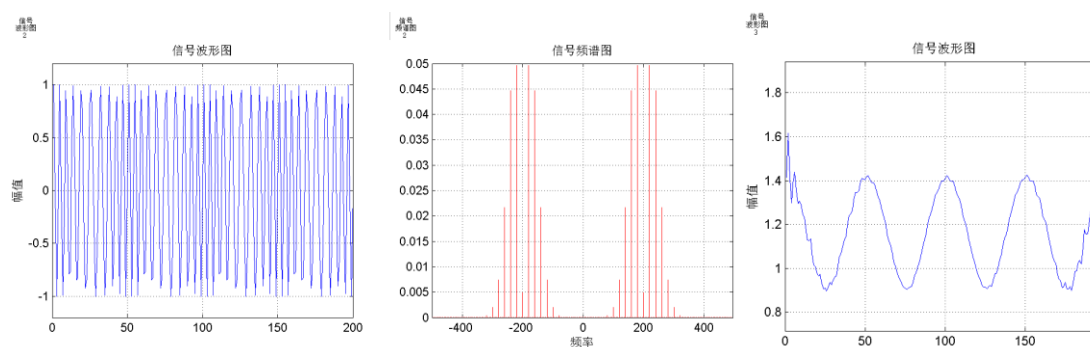
可以看出待调制频谱仅含 $\pm 20\text{Hz}$ 的谱线，而调制输出信号的频谱含有 $\pm (200 \pm 20n)\text{Hz}$ ($n=0, 1, 2, \dots$)的频谱分量，离 $\pm 200\text{Hz}$ 越远，幅值越小。理论上其带宽为无穷大，然而较大的 n 值对应的频谱分量的幅度很小，在图中几乎看不到其谱线。

解调输出波形的频率基本与原始信号波形相同，但与原始信号波形相比，解调输出信号波形并不平整，呈现上下起伏的锯齿状，可能是部分器件电容充电放电导致的问题。

当 $\beta=5$ 时：



当 $\beta=50$ 时：



将调制指数 β 更改为 5 和 200，比较结果可得，调制输出信号的频谱的分布不变，但是每一个频谱分量的幅度却发生变化，调制指数 β 越大，其频谱分量幅度值越大，这是与对应贝塞尔函数的不同取值有关。

观察比较解调输出波形，解调输出波形的频率与未调制信号的频率轮廓基本一致，都有锯齿形状的失真。但不同调制指数对应的解调输出信号的波形的幅度随 β 的增大而增大，且锯齿状随 β 的增大而不明显。

鉴频是先利用微分器将调频信号变为调幅调频信号，将频率的变化情况转换为幅度的变化情况，再通过包络检波器解调。在鉴频器这一步中微分器将调制指数 β 同时带入幅度值。 β 越大，调幅调频信号幅度越大，包络解调出的信号的幅度就越大。

2、画出直接调频（利用 VCO）与利用普通鉴频器进行调频解调的原理图。

利用 VCO 作调频器产生 FM 调频信号原理框图



利用普通鉴频器进行调频解调



六、实验总结

通过本次调频实验，我们学习了解了利用 VCO 做调频器产生调频信号和利用鉴频器对调频进行解调的方法。同时发现了包络检波无法完全无失真地解调出未调制信号，调频指数 β 对解调波形幅值、锯齿状失真的影响。让我们对 FM 调频的知识有了更深的理解。