

# 浙江大学实验报告

专业： 自动化（控制）  
姓名： 万晨阳  
学号： 3210105327  
日期： 2022.4.17  
地点： 东 3-409

课程名称： 信号分析与处理 指导老师： 季瑞松 实验类型：

实验名称： 幅度调制与解调 成绩： 签名：

## 一、实验目的

- (1) 了解幅度调制的原理及常用方法；
- (2) 了解解调的原理及常用方法。

## 二、实验设备

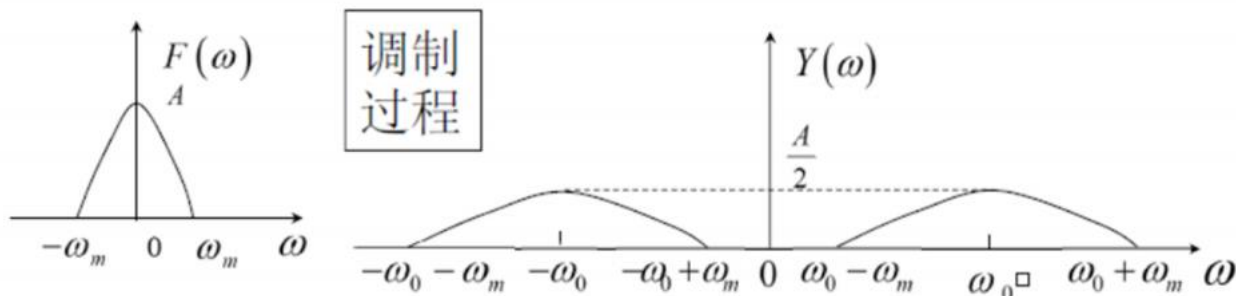
PC 机以及 NI myDAQ 便携式数据采集设备各一套。

## 三、实验原理

### (1) 频移特性

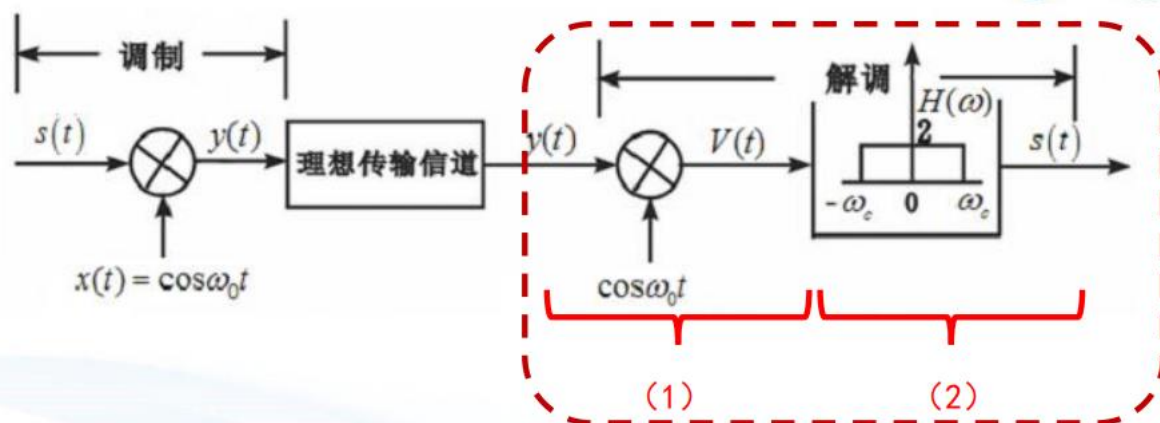
信号时域乘以因子  $e^{j\omega t}$  或者  $e^{-j\omega t}$ ，对应于频域将信号频谱右边移动或左边移动  $\omega$ ，实现频谱的搬移。

通信中的调制技术，乘以正余弦信号，将发送信号的频谱搬移到较高频率范围：



$$y(t) = f(t) \times \cos \omega_0 t \Rightarrow Y(\omega) = \frac{1}{2} [F(\omega - \omega_0) + F(\omega + \omega_0)]$$

### (2) AM 常用的相干解调方式



①输入信号与载波信号先相乘，效果参考上面的调制过程（频移特性）；

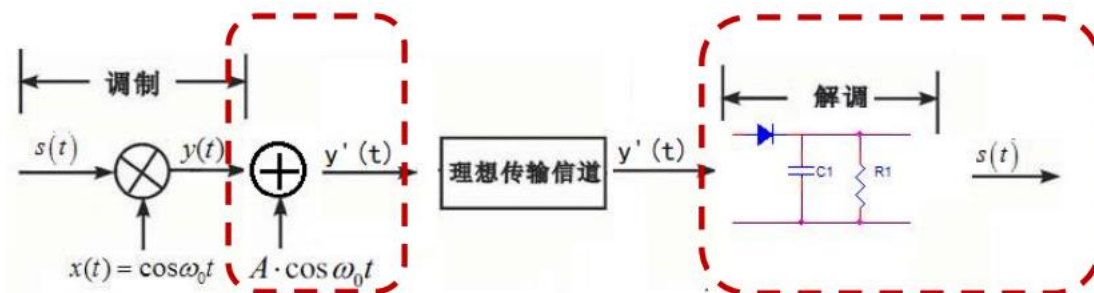
②输入一路与载波频率相干（同频同相）的参考信号与 AM 相乘，此时在频域上有：

$$v(t) = s(t) \times \cos \omega_0 t \times \cos \omega_0 t \Rightarrow V(\omega) = \frac{1}{4} [F(\omega - 2\omega_0) + F(\omega + 2\omega_0) + 2F(\omega)]$$

③将该输出通过低通滤波器处理，滤除高频分量，得到原始信号  $s(t)$ ：在频域上只通过

$$2 \times \frac{1}{2} F(\omega) = F(\omega), \text{ 即原始信号的频域特性, 进而得到 } s(t)。$$

(3) AM 常用的非相干解调方式

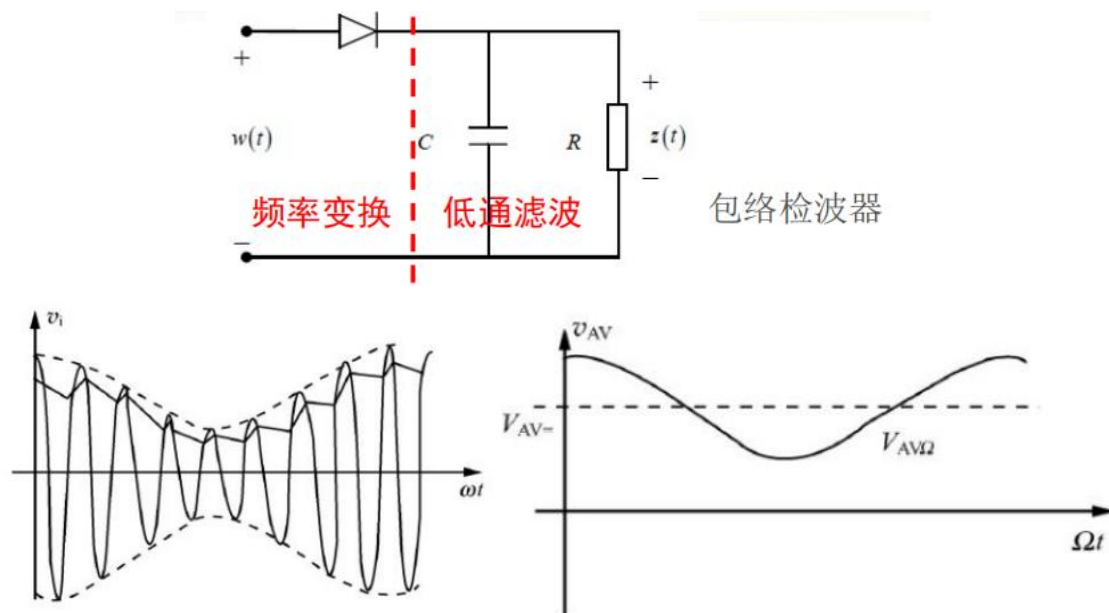


①在发射机端，需要对已调信号  $y(t)$  与一定倍数的载波信号相加：

$$y'(t) = y(t) + A \cos \omega_0 t = s(t) \cos \omega_0 t + A \cos \omega_0 t$$

②输出  $y'(t)$  到解调电路，即通过包络检波器处理，实现对载波信号的包络线模拟，得到原始信号。

(4) 包络检波器工作原理



①输入信号  $w(t)$  正半周时间里，二极管导通，其电阻  $R_D$  极小，电路对 C 充电，由 RC 电路性质

可知  $\tau_{\text{充}} = R_D C$ 。因为  $R_D$  极小，所以  $\tau_{\text{充}}$  很小，极短时间内就可以完成充电，故有输出

$$z(t) \approx w(t)。$$

②输入信号  $w(t)$  负半周时间里，二极管截止，C 经过电阻 R 放电，由 RC 电路性质可知

$\tau_{\text{放}} = RC$ ，而 R 很大（提供的电路板上  $R=510k$ ），所以  $\tau_{\text{放}}$  比较大。由于输入信号正负变化较快，短时间内 C 放电很少，故有输出  $z(t) \approx w(t)$ 。

③由前两点分析可知检波过程实质上是信号源通过二极管向负载电容 C 充电和负载电容 C 对负载电阻 R 放电的过程。充电时间常数为  $\tau_{\text{充}} = R_D C$ ， $R_D$  为二极管正向导通电阻；放电时间常数为  $\tau_{\text{放}} = RC$ ，通常  $R \gg R_D$  因此对 C 而言充电快、放电慢。经过若干个周期后，检波器的输出电压  $z$  在充放电过程中逐步建立起来，该电压对二极管 D 形成一个大的负电压，从而使二极管在输入电压的峰值附近才导通，导通时间很短，电流导通角很小。当 C 的充放电达到动态平衡后， $z$  按高频周期作锯齿状波动，其平均值是稳定的，且变化规律与输入调幅信号的包络变化规律相同，从而实现了 AM 信号的解调。

#### 四、预习要求（选做）

无

#### 五、实验内容

##### 1、实验操作方法和步骤

###### （1）AM 调制过程实验

###### ①生成调制信号：

保持 myDAQ 采样率为 200kHz，持续时间为 500ms，设置调制信号为正弦波，频率为 16Hz，幅度为 0.25V（ $V_{pp}=0.5V$ ）。

###### ②生成已调信号：

设定载波信号为余弦，频率为 1.6kHz，幅度为 0.5V（ $V_{pp}=1V$ ）。通过将调制信号与载波信号相乘，得到已调信号  $y(t)$ 。

###### （2）相干解调过程实验

①将已调信号  $y(t)$  乘上载波信号，得到  $v(t)$ ，命名、存盘；返回 Arbitrary Waveform Generator 界面，设置更新率为 200kS/s，选择输出通道为 A01，导入刚才生成的文件，按 run 执行。将 myDAQ 的 A01 输出接至 AI0 输入，可用虚拟示波器读波形显示结果。

②将信号  $v(t)$  通过设计的低通滤波器，在 AI1 口得到解调后信号  $s(t)$ ，比较已调信号  $y(t)$  和滤波器输出信号  $s(t)$ 。

###### （3）AM 调制与非相干解调

###### ①已调信号与载波信号的相加：

对于已调信号  $y(t)$ ，加上载波信号  $x(t)$  的 A 倍，得到  $y'(t)$ ，存盘保存并通过 myDAQ 的 A00 输出口。

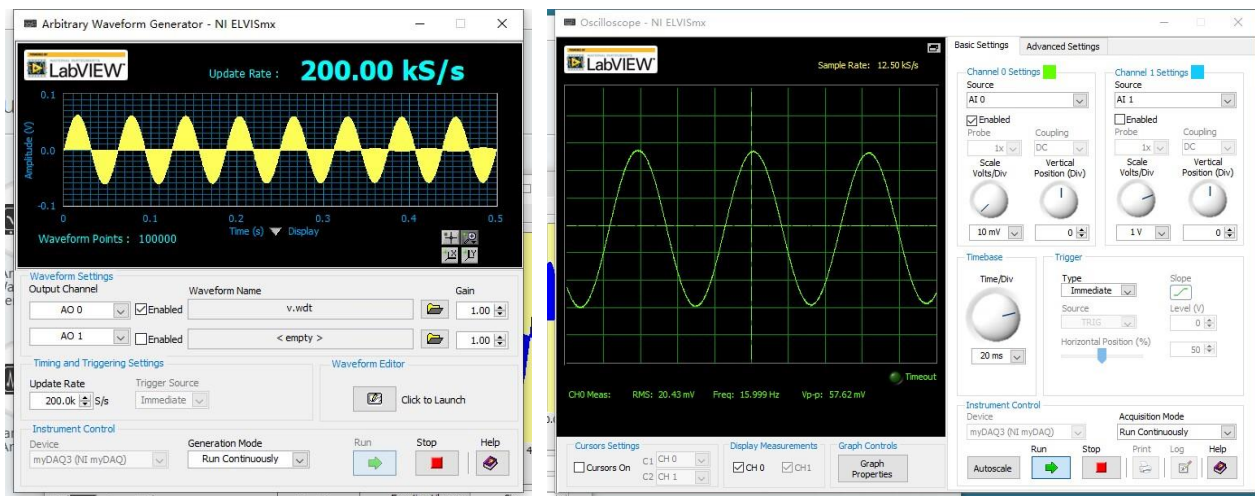
###### ②非相干解调过程实验：

将  $y'(t)$  接至所设计的包络检波器，得到  $s(t)$ ，在电路板中已将  $s(t)$  接至 myDAQ 的 AI0 输入端，利用虚拟示波器读取图形，比较已调波形和包络检波器输出波形。

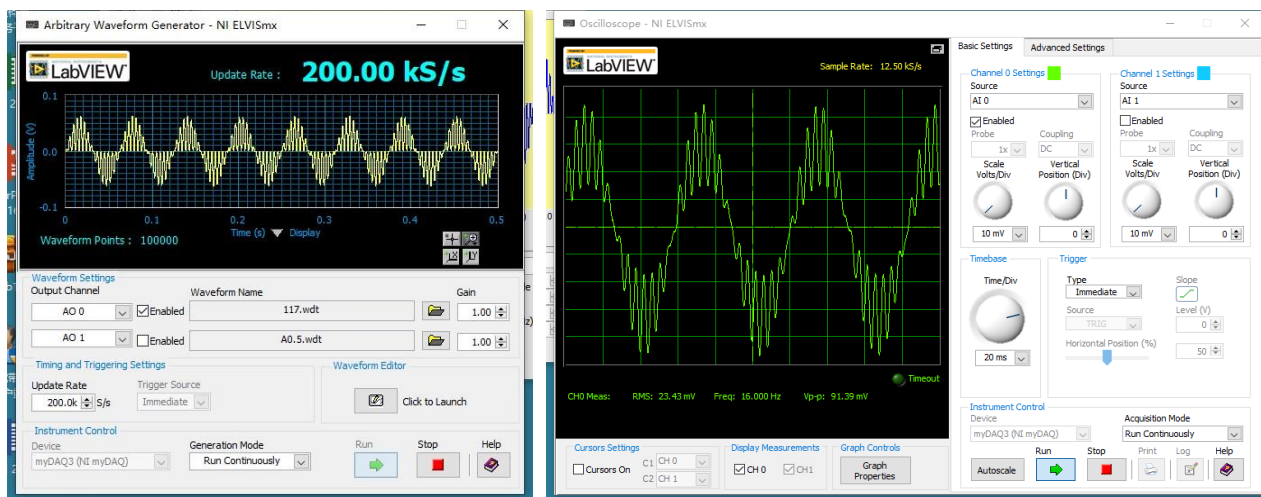
##### 2、实验数据记录和处理

## (1) 相干解调

用示波器观察解调结果：



改变载波频率，测试载波频率接近 117Hz 时的解调波形：

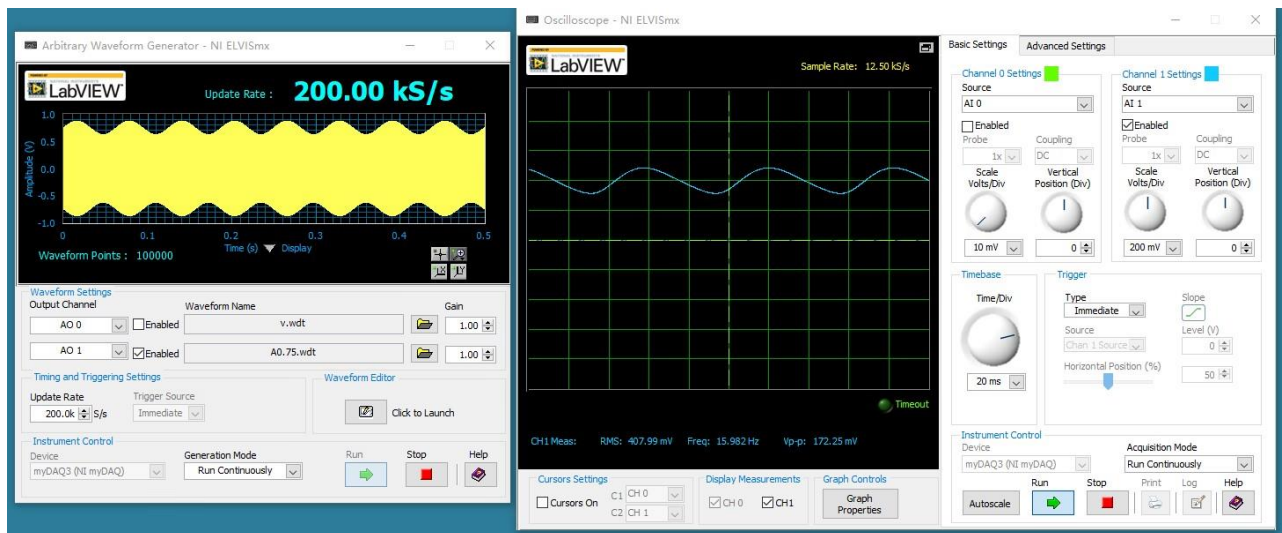


## (2) 非相干解调

①  $A=0.5$ :



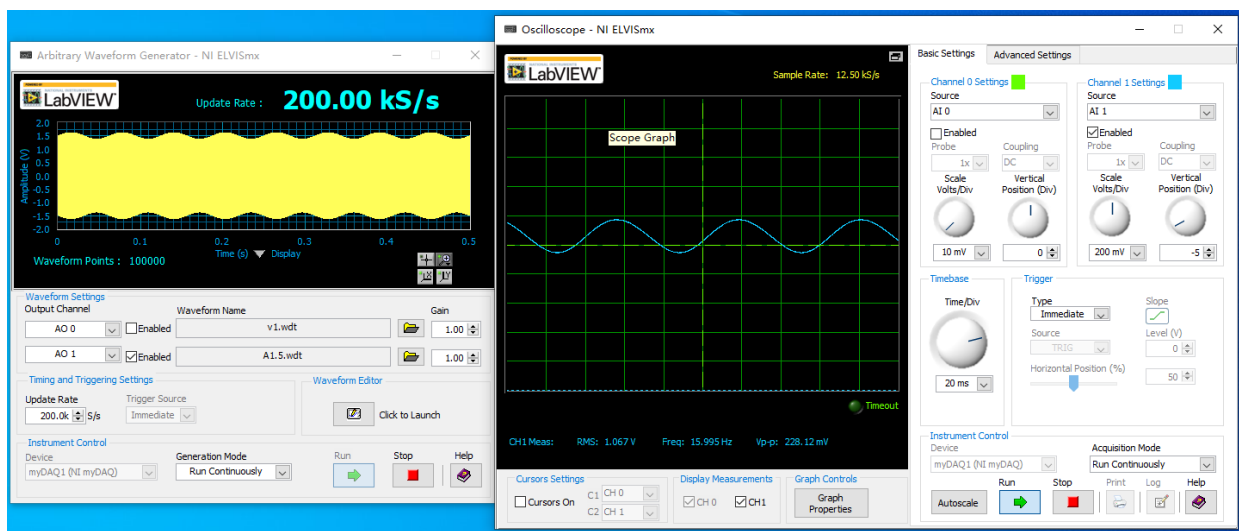
②  $A=0.75$ :



③ A=1:



④ A=1.5:

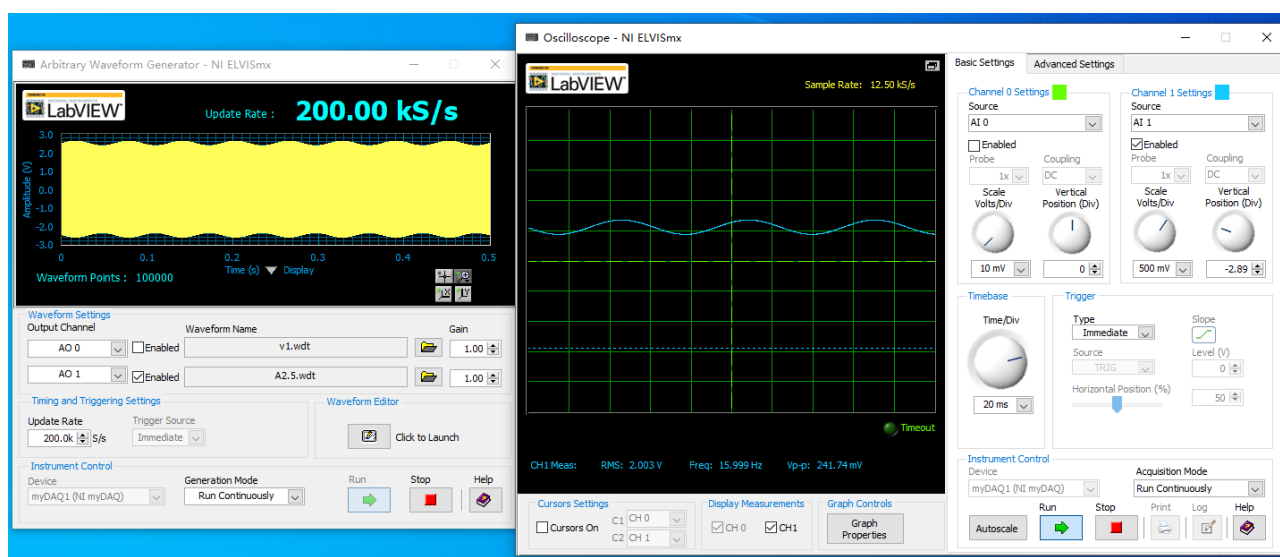




⑤ A=2:



⑥ A=2.5:



## 六、实验总结

### 1、实验结果与分析

#### (1) 相干解调

调制信号

$$s(t) = 0.25 \sin(32\pi t)$$

载波信号

$$x(t) = 0.5 \cos(3200\pi t)$$

$$v(t) = s(t) \times x(t) \times x(t)$$

参考实验原理中 (1) (2) 两点分析:

$s(t)$  信号的频谱为  $F(\omega) = 0.25 \times j\pi[\delta(\omega + 32\pi) - \delta(\omega - 32\pi)]$ ，则  $y(t)$  信号的频谱

为  $Y(\omega) = \frac{1}{4}[F(\omega - 3200\pi) + F(\omega + 3200\pi)]$ ，进而  $v(t)$  信号的频谱为：

$$\begin{aligned} V(\omega) &= \frac{1}{16}[F(\omega - 6400\pi) + F(\omega + 6400\pi) + 2F(\omega)] \\ &= \frac{1}{64} * j * \pi[\delta(\omega - 6368\pi) - \delta(\omega - 6432\pi) + \delta(\omega + 6432\pi) - \delta(\omega + 6368\pi) + 2\delta(\omega + 32\pi) - \delta(\omega - 32\pi)] \\ &= \frac{1}{64} * j * \pi[2 * \delta(6432\pi) + 2\delta(\omega + 32\pi) - \delta(\omega - 32\pi)] \end{aligned}$$

计算可知低通滤波器只要满足：

$$H(\omega) = \begin{cases} 8, & |\omega| < \omega_c \\ 0, & |\omega| > \omega_c \end{cases}, \text{ 其中 } 32\pi < \omega_c < 6368\pi$$

就可以恢复原始信号，换算后滤波器截止频率范围落在 16Hz~3.184kHz 内即可，电路板提供的滤波器截止频率范围是 16Hz~1.6kHz，故可以恢复调制信号。

(2) 非相干解调

调制信号

$$s(t) = 0.25 \sin(32\pi t)$$

载波信号

$$x(t) = 0.5 \cos(3200\pi t)$$

$v(t) = s(t) \times x(t) + Ax(t)$ ，实验分别取  $A=0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5$ 。

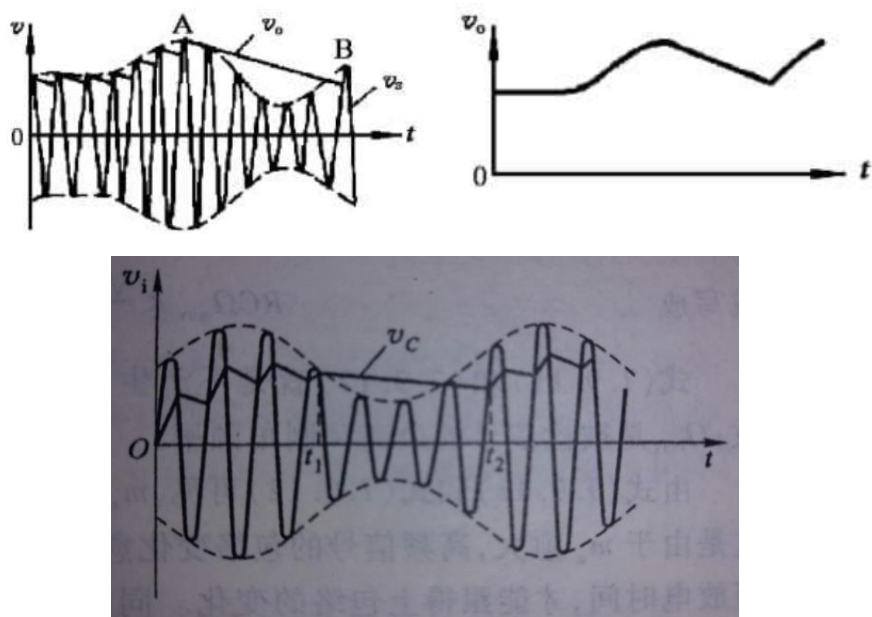
可以看到，当  $A \geq 2$  时，信号解调才能够保证不失真，而  $A < 2$  时，都有一定程度的失真

分析原因如下：

先将 AM 信号化为型如  $v = V(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$  的形式，则有：

$$v(t) = Ax(t)[1 + \frac{1}{A}s(t)] = \frac{A}{4}[1 + \frac{1}{2A}\sin(32\pi t)]\cos(3200\pi t)$$

观察实验所得三幅恢复信号，发现都有不同程度的惰性失真（对角线失真），这是由于二极管截止期间电容 C 放电速度过慢，在某一时刻跟不上输入调幅波包络的下降速度，造成失真。即在包络下降阶段，由于放电太慢，电容居高不下，二极管始终截止（或导通时间可以忽略不计），使得电容电压呈现为一条坡度较低的下陷线段。图形如下：



要避免惰性失真，即在  $t_1$  时刻，包络的下降速率  $\leq$  电容 C 的放电速率。查阅文献，得到需要满

足的数学条件： $RC \leq \frac{\sqrt{1-m^2}}{\Omega m}$ 。

实验使用的电路板为

$$R = 510k, C = 0.1\mu F$$

经过变换可知，本次实验中

$$\Omega = 32\pi, m = \frac{1}{2A}$$

计算后得到： $A \geq 2.61$  时，可避免惰性失真。

而实验中三个取值都没有满足这一条件，理论上三个实验结果都存在惰性失真，而事实也是如

此。并且本次实验电路板固定，所以放电速率无法更改，根据  $\frac{\sqrt{1-m^2}}{\Omega m}$  ( $0 < m < 1$ ) 可知，在  $\Omega$  不变的情况下， $m$  越小包络下降速率越小，即  $A$  越大惰性失真越不明显，这在实验中也完美体现。

## 2、讨论、心得

### (1) 幅度调制的原理

①输入信号与载波信号先相乘， $y(t) = f(t) \times \cos \omega_0 t \Rightarrow Y(\omega) = \frac{1}{2}[F(\omega - \omega_0) + F(\omega + \omega_0)]$ ；

②输入一路与载波频率相干（同频同相）的参考信号与 AM 相乘，此时在频域上有：

$$v(t) = s(t) \times \cos \omega_0 t \times \cos \omega_0 t \Rightarrow V(\omega) = \frac{1}{4}[F(\omega - 2\omega_0) + F(\omega + 2\omega_0) + 2F(\omega)]$$

③将该输出通过低通滤波器处理，滤除高频分量，得到原始信号  $s(t)$ ：在频域上只通过

$$2 \times \frac{1}{2} F(\omega) = F(\omega), \text{ 即原始信号的频域特性，进而得到 } s(t)。$$



## (2) 比较相干 AM 解调和非相干 AM 解调的差别及他们的性能差异

相干解调因为需要同步载波，所以电路相对复杂，而观察实验结果可知相干解调对调制信号的恢复效果完美；非相干解调因为不需要同步载波，所以电路相对简单，但观察实验结果可知，其对调制信号的恢复效果受到 A 值的影响较大， $A < 2.61$  时必然存在惰性误差，且 A 越小误差越明显。

查阅文献知道，包络检波存在门限效应，相干解调不存在门限效应，等等。

综上：相干解调电路复杂，恢复效果好；非相干解调电路简单，恢复效果受限制。

## (3) 实验波形整理与数据分析见上面

## (4) 实验体会

本实验软件部分相当简单，但是理论分析却非常值得关注，首先我们要明确为什么要进行调制，

课上老师给出一个原因  $C = \lambda * f$ ，如果不增加 f，那么需要增大  $\lambda$  这样会导致很长的天线进行发送。经过资料查阅，原因总结如下：

(1) 每种传输信道，都有自己最佳的信号传输频率，低频的基带数据（如语音信号）不适合直接在自由空间的无线信道中进行传输。（低频易受干扰）

(2) 无线传输的天线与信号传输的频率成反比，频率越高，天线越长，低频信号的发送和接收，需要太长的天线。（低频物理代价高）

(3) 同一信道需要复用多个用户的数据，先把多个用户数据调制在一起进行传输。（调频有利于信道复用）

因此，调制的目的：是对原始的时域信号进行某种运算，产生一个适合所在信道传输的另一个频率的信号。解调的目的：对调制后的时域信号进行某种运算，还原出原先的时域信号。

其次，调制和解调的原理也很值得讨论，通过乘以  $\cos$  调制，通过再次乘以  $\cos$  解调，再经过滤波器得到原始信号，思路非常的巧妙。

调制和解调是利用频域处理信号的典型例子。值得注意的是：频域只是评判信号状态和特性的空间，在物理世界中，是没有频域存在的，我们在时域中对信号进行处理和恢复，调制和解调，滤波，我们并不能够清楚以及量化的评判信号是否受到了损失，所以我们在频域上进行评判，并研究出了一系列针对频域的滤波器和处理方式。但是我们始终要明白一点，信号的处理和恢复的具体处理都是从时域展开的，即使是频域的方法，也要转化到时域去实现。