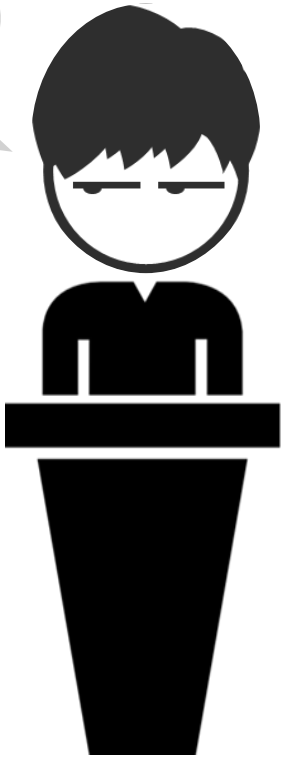
标准振幅调制与解调的设计与仿真

——MATLAB仿真

李　勇　2012级物理学 12020011014

项目背景

调制技术是《通信电子电路》课程中一个十分重要的技术，它是一种信号处理技术。无论在模拟通信、数字通信还是数据通信中都扮演着重要角色。通信的目的是传输信息，如何准确地传输信息是通信的一个重要目标。通常从信源产生的原始的基带信号具有较低频率的频谱分量，这种信号在多信道复用、无线电传输等场合不适宜直接进行传输。因此。在通信系统的发送端通常要将基带信号调制在较高的载频上，而在接收端则需要有相反的过程-----解调。



标准振幅调制与解调

AM调制与解调原理

解调分为包络检波法和同步乘积型检波法

MATLAB仿真

载波信号、调制信号、AM调制、包络检波、同步检波、AM波的功率、调制度对AM调制的影响。

总结体会

遇到的问题和解决方法

普通调幅波

在单一频率信号作为调制信号时，调幅波的表达式为：

$$u_{AM}(t)=U_{cm}(1+m_a\cos\Omega t)\cos\omega_c t$$

若调制信号为非正弦波，其表达式为

$$u_{AM}(t)=U_{cm}(1+m_a f(t))\cos\omega_c t$$

在上两式中 m_a 为调幅度或调制度， $m_a\le 1$ ，否则会产生过调制；

$|f(t)|_{max}=1$

调幅波的频谱由三部分组成，包括载频分量和上、下边频（带）。振幅调制是把调制信号的频谱搬移到载频两端，在搬移的过程中频谱结构不变。这类调制属于频谱的线性搬移。

调幅信号的带宽为调制信号最高频的两倍，即 $B_W=2F_{max}$。

普通调幅波

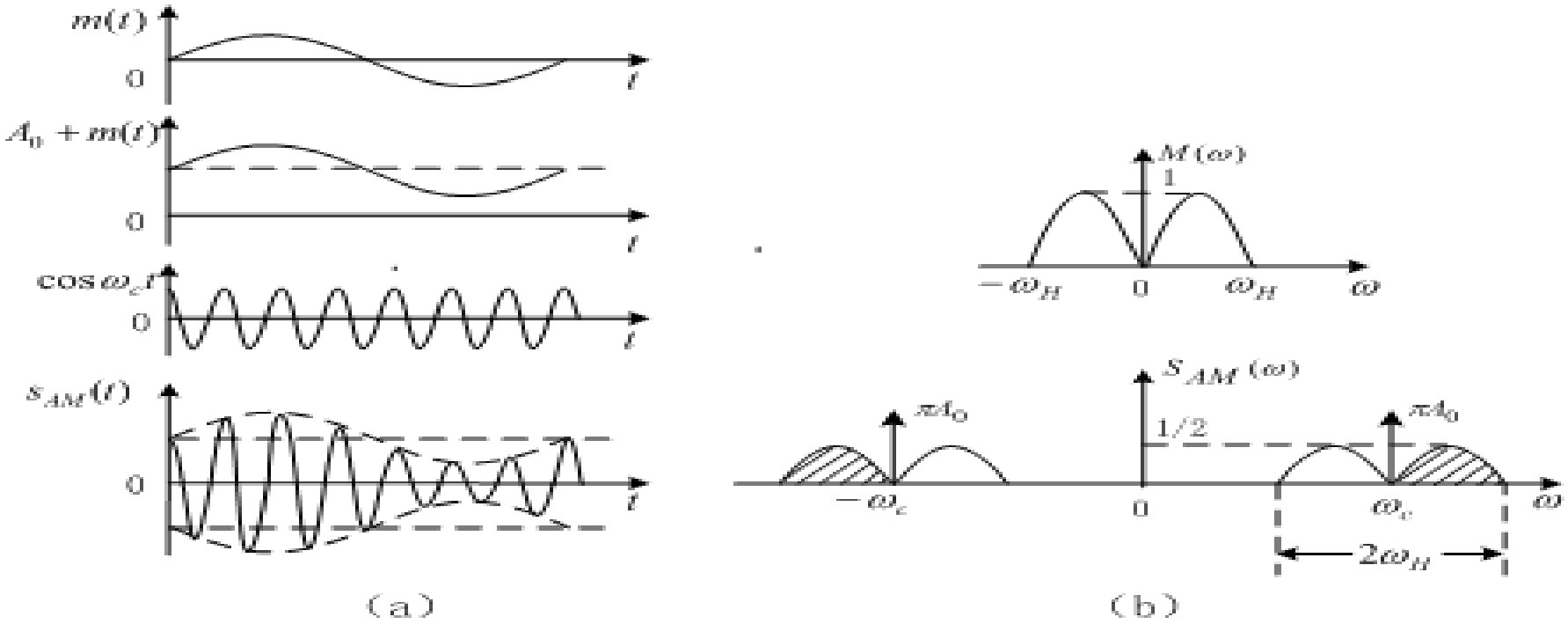


图3-3 AM信号的波形和频谱

载波信号

```
function [ ] = Zaiboxinhao()
U1=5;                          %载波幅值为5
f1=3000;                       %载波频率为3000
t=-1:0.00001:1;                %  t扫描范围为-1到1

w1=2*pi*f1;                    %载波信号角频率
u1=U1*cos(w1*t);               %载波信号表达式
figure(1);                     %新建一个图形窗口1
subplot(2,1,1);                %将图形窗口一分为二，并把第一个作    为当前图形窗口
plot(t,u1);                    %绘制载波信号波形
xlabel('t');ylabel('u1');      %横坐标为t，纵坐标显示为u1
title('载波信号波形');          %标题为‘载波信号波形’
axis([0,0.01,-10,10]);         %设置显示范围

Y1=fft(u1);                    %对u1进行傅里叶变换
subplot(2,1,2);                %将第二个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(abs(Y1));                 %绘制Y1的图形
xlabel('w');ylabel('Y1');      %横坐标为w，纵坐标显示为Y1
title('载波信号频谱');                 %标题为‘载波信号频谱’
axis([5800,6200,0,600000]);            %设置显示范围
```

仿真波形

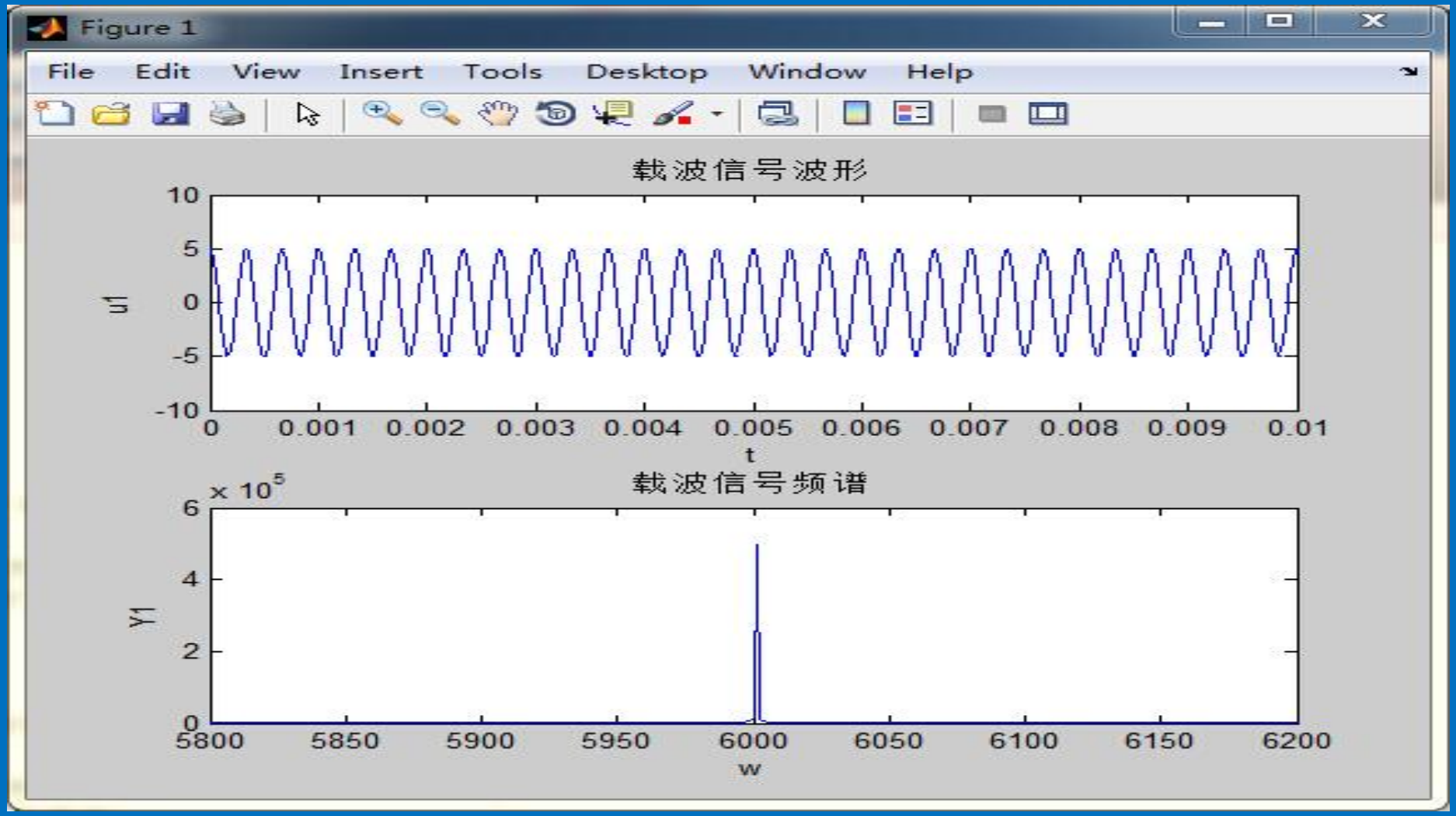


Figure 1
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
载波信号波形
u1
10
5
0
-5
-10
0 0.001 0.002 0.003 0.004 0.005 0.006 0.007 0.008 0.009 0.01
t
载波信号频谱
x 10^5
Y1
6
4
2
0
5800 5850 5900 5950 6000 6050 6100 6150 6200
w

调制信号

```
function [ ] =Tiaozhixinhao()
U2=3;
f2=3;
t=-1:0.00001:1;                    %t扫描范围为-1到1

w2=2*pi*f2;
u2=1.2*U2*cos(w2*t)+U2*cos(2*w2*t)+1.8*U2*cos(3*w2*t);
                                   %调制信号表达式
figure(2);                         %新建一个图形窗口2
subplot(2,1,1);                    %将图形窗口一分为二，并把第一个作为当前图形窗口
plot(t,u2);                        %绘制载波信号波形
xlabel('t');ylabel('u2');          %横坐标为t，纵坐标显示为u2
title('调制信号波形');              %标题为‘调制信号波形’
axis([0,1,-15,15]);                %设置显示范围

Y2=fft(u2);                        %对u2进行傅里叶变换
subplot(2,1,2);                    %将第二个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(abs(Y2));                     %绘制Y2的图形
xlabel('w');ylabel('Y2');          %横坐标为w，纵坐标显示为u1
title('调制信号频谱');              %标题为‘载波信号频谱’
axis([0,250,0,2000000]);           %设置显示范围
```

仿真波形

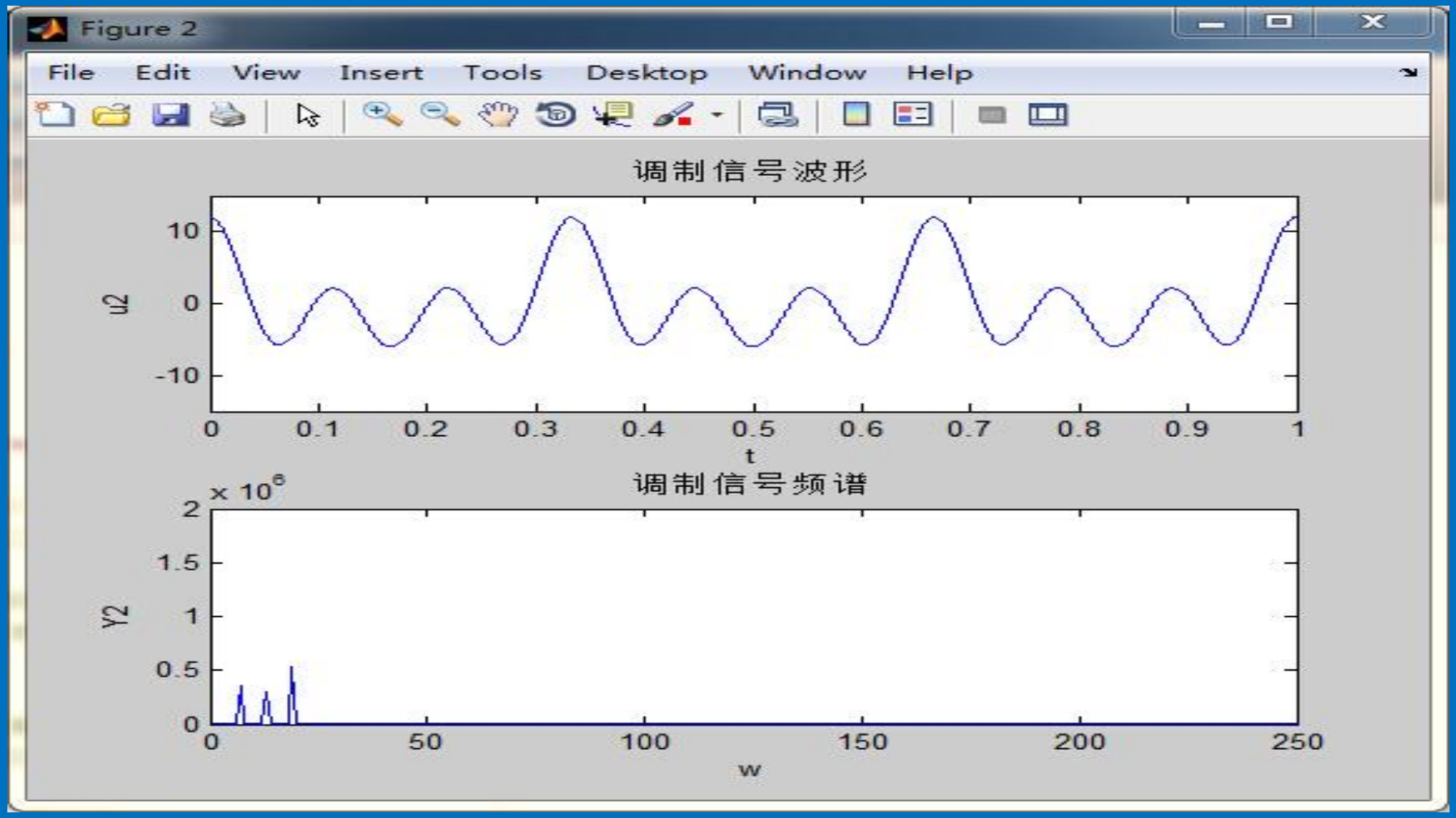


Figure 2
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
调制信号波形
u2
10
0
-10
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
t
调制信号频谱
x 10^6
Y2
2
1.5
1
0.5
0
0 50 100 150 200 250
w

调制

```
function [ ] =Tiaozhi()
t=-1:0.00001:1;                          %t扫描范围-1到1
U1=5;                                    %载波信号幅度
U2=3;
f1=3000;                                 %载波信号频率
f2=3;
m=0.1;                                   %调制度为0.1
w1=2*pi*f1;                              %载波信号角频率
w2=2*pi*f2;
u2=1.2*U2*cos(w2*t)+U2*cos(2*w2*t)+1.8*U2*cos(3*w2*t);          %调制信号
u3=U1*(1+m*u2).*cos((w1)*t);     %AM已调信号
figure(3);                               %新建一个图形窗口3
subplot(2,1,1);                          %将图形窗口一分为二，并把第一个作为当前图形窗口
plot(t,u3);                              %绘制已调信号波形
xlabel('t');ylabel('u3');                %横坐标为t，纵坐标显示为u3
title('已调信号波形');                    %标题为‘已调信号波形’
axis([0,1,-15,15]);                      %设置显示范围

Y3=fft(u3);                              %对u3进行傅里叶变换
subplot(2,1,2);                          %将第二个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(abs(Y3));                           %绘制Y3的图形
xlabel('w');ylabel('Y3');                %横坐标为t，纵坐标显示为u3
title('已调信号频谱');                    %标题为‘已调信号频谱’
axis([5900,6100,0,600000]);              %设置显示范围
```

仿真波形

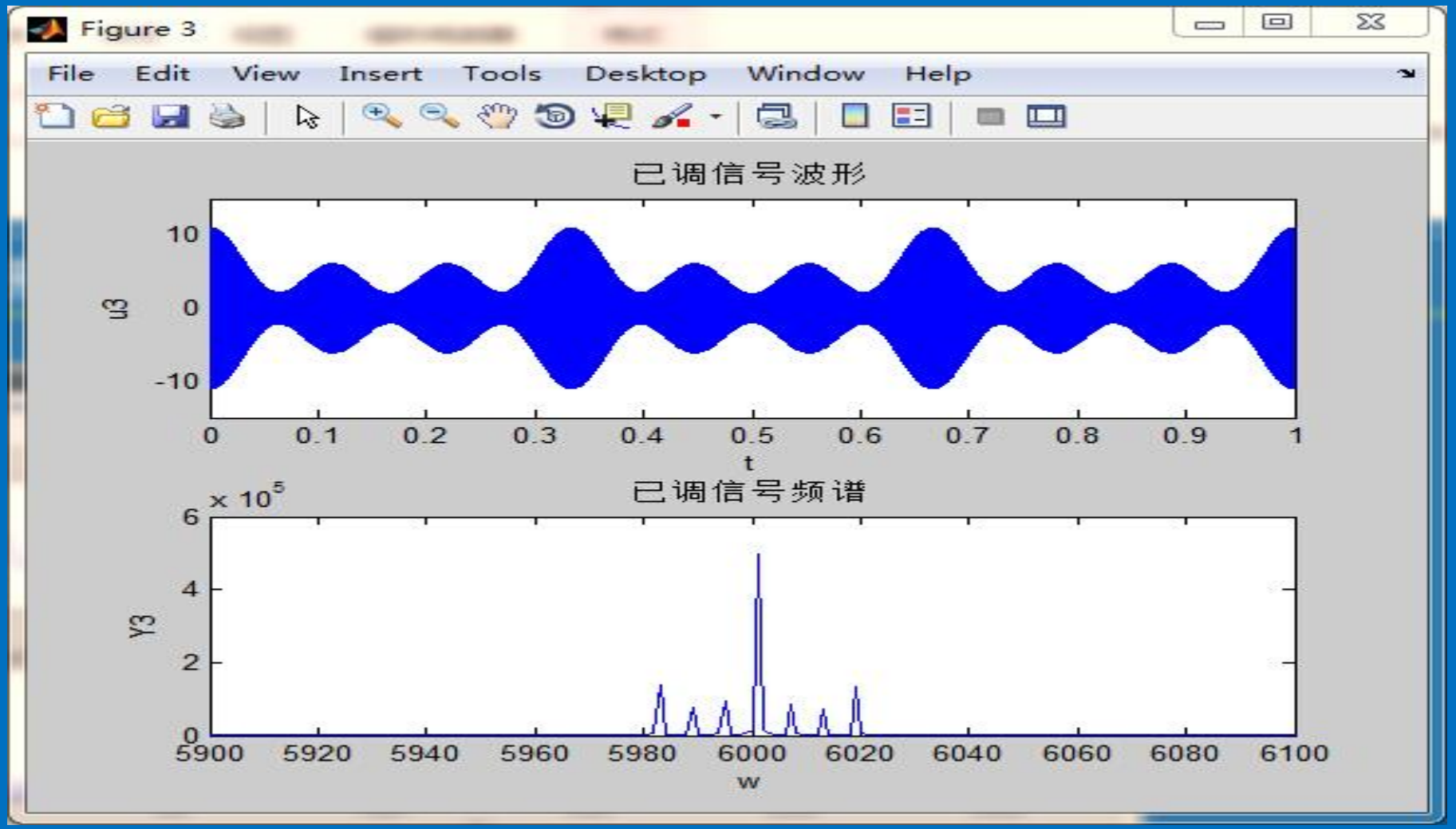


Figure 3
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
已调信号波形
u3
10
0
-10
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
t
已调信号频谱
x 10^5
Y3
6
4
2
0
5900 5920 5940 5960 5980 6000 6020 6040 6060 6080 6100
w

电压调制系数

全载波AM信号的标准形式为

$$u_{AM} = U_c(1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$

其中m_a为电压调制系数，又叫电压调制度，反映了载波振幅受控的强弱程度，一般m_a值越大调幅越深：

$$\begin{cases} m_a = 0\text{时} & \text{未调幅} \\ m_a = 1\text{时} & \text{最大调幅(百分之百)} \\ m_a > 1\text{时} & \text{过调幅，包络失真，实际电路中必须避免} \end{cases}$$

电压调制系数

由定义可得

$$m_a = \frac{1}{2}\frac{U_{max} - U_{min}}{U_c} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$$

其中Umax表示调幅信号的最大振幅，Umin表示调幅信号的最小振幅。

调制度m对AM调制的影响

```
function [ ] =m_yingxiang()
t=-1:0.00001:1;                          %t扫描范围-1到1
U1=4;                                    %载波信号幅度
U2=2;                                    %调制信号幅度
f1=3000;                                 %载波信号频率
f2=3;                                    %调制信号频率
m1=0;                                   %调制度为0
m2=0.4;                                 %调制度为0.3
m3=0.7;                                 %调制度为0.6
m4=1;                                   %调制度为1
m5=1.3;                                 %调制度为1.3
m6=3;                                   %调制度为3
u1=U1*(1+m1.*cos(2*pi*f2*t)).*cos(2*pi*f1*t);   %调制度为0的调制信号
u2=U1*(1+m2.*cos(2*pi*f2*t)).*cos(2*pi*f1*t);   %调制度为0.4的调制信号
u3=U1*(1+m3.*cos(2*pi*f2*t)).*cos(2*pi*f1*t);   %调制度为0.7的调制信号
u4=U1*(1+m4.*cos(2*pi*f2*t)).*cos(2*pi*f1*t);   %调制度为1的调制信号
u5=U1*(1+m5.*cos(2*pi*f2*t)).*cos(2*pi*f1*t);   %调制度为1.3的调制信号
u6=U1*(1+m6.*cos(2*pi*f2*t)).*cos(2*pi*f1*t);   %调制度为3的调制信号
figure;                                 %新建一个图形窗口
subplot(3,2,1)                          %将图形窗口1分为6，并把第一个作为当前图形窗口
plot(t,u1);                             %绘制调制度为0时的波形
xlabel('t');ylabel('u1');
title('m=0时AM调制信号');
axis([0,1,-10,10]);
grid on;
```

调制度m对AM调制的影响

```
subplot(3,2,2)                    %将第2个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(t,u2);                       %绘制调制度为0.4时的波形
xlabel('t');ylabel('u2');
title('m=0.4时AM调制信号');
grid on;
subplot(3,2,3)                    %将第3个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(t,u3);                       %绘制调制度为0.7时的波形
xlabel('t');ylabel('u3');
title('m=0.7时AM调制信号');
grid on;
subplot(3,2,4)                    %将第4个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(t,u4);                       %绘制调制度为1时的波形
xlabel('t');ylabel('u4');
title('m=1时AM调制信号');
grid on;
subplot(3,2,5)                    %将第5个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(t,u5);                       %绘制调制度为1.3时的波形
xlabel('t');ylabel('u5');
title('m=1.3时AM调制信号');
grid on;
subplot(3,2,6)                    %将第6个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(t,u6);                       %绘制调制度为3时的波形
xlabel('t');ylabel('u6');
title('m=3时AM调制信号');
grid on;
```

仿真波形

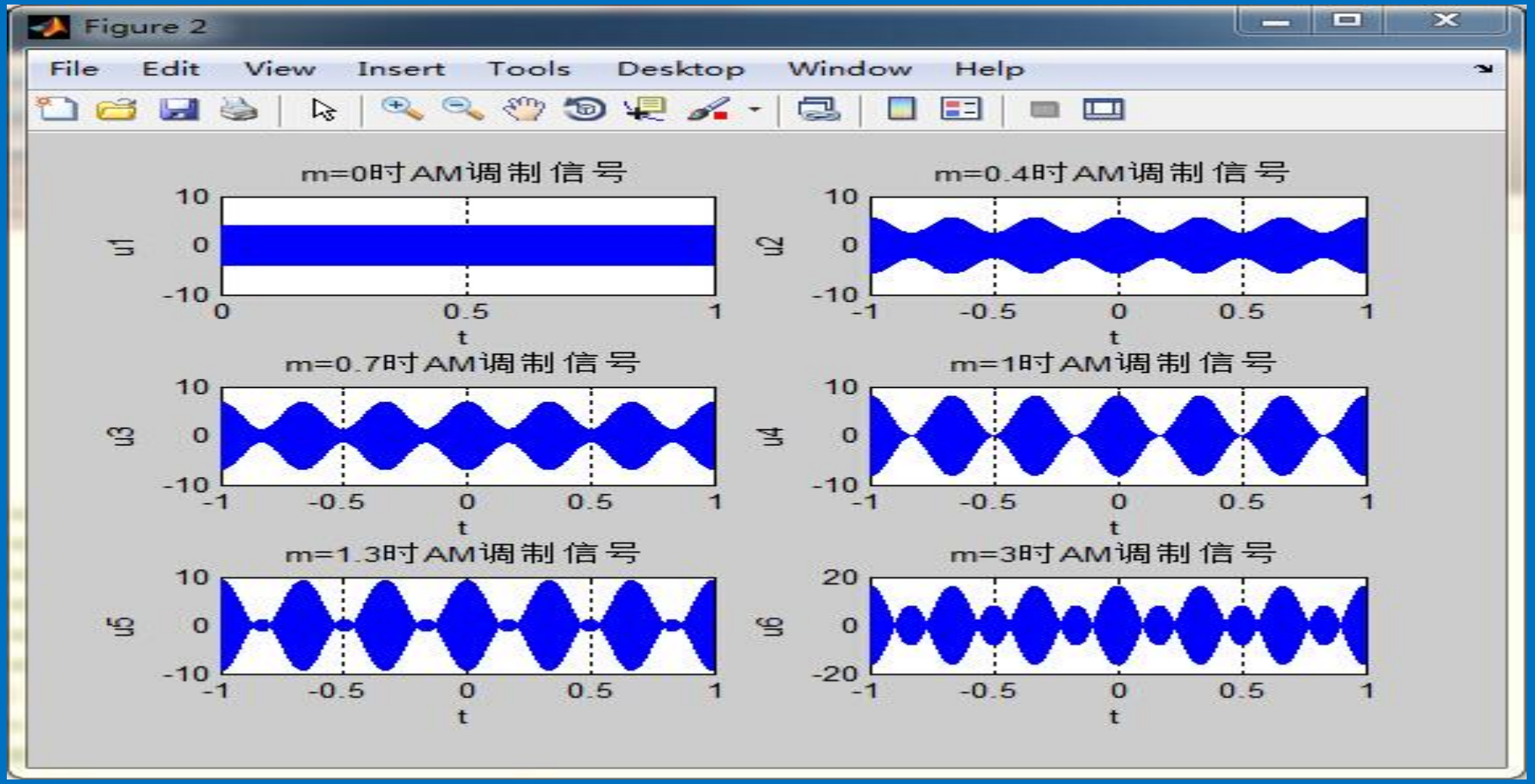


Figure 2
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
m=0时AM调制信号
m=0.4时AM调制信号
m=0.7时AM调制信号
m=1时AM调制信号
m=1.3时AM调制信号
m=3时AM调制信号
u1
u2
u3
u4
u5
u6
t

AM波的功率

AM信号在1 欧姆电阻上的平均功率应等于$s_{AM}(t)$的均方值。当$m(t)$为确知信号时，$s_{AM}(t)$的均方值即为其平方的时间平均，即：

$$P_{AM}=\overline{s_{AM}{}^2(t)}=\overline{[A_0+m(t)]^2\cos^2\omega_c t}$$
$$=\overline{A_0^2\cos^2\omega_c t}+\overline{m^2(t)\cos^2\omega_c t}+\overline{2A_0 m(t)\cos^2\omega_c t}$$

因为调制信号不含直流分量，即$\overline{m(t)}=0$ ，且$\overline{\cos^2\omega_c t}=1/2$ ，所以：

$$P_{AM}=\frac{A_0^2}{2}+\frac{\overline{m^2(t)}}{2}=P_c+P_s$$

式中，$P_c=A_0^2/2$为载波功率；$P_s=\overline{m^2(t)}/2$为边带功率，它是调制信号功率$p_m=\overline{m^2(t)}$的一半。

AM波的功率

```
function [] =Gonglv()
m=0:0.01:1;                                  %调制度扫描范围
Ucm=5;                                       %载波信号幅值
RL=1000;                                     %负载电阻
Pc=1/2*Ucm*Ucm/RL;                           %负载上消耗的载波功率
Pu=(1/2*m*Ucm).*(1/2*m*Ucm)/(2*RL);          %上边频分量所消耗的平均功率
Pl=Pu;                                       %下边频分量所消耗的平均功率
PAM=Pc+Pu+Pl;                        %在调制信号的一个周期内，调幅信号的平均总功率
e=(Pu+Pl)./PAM;                      %双边带总功率与平均总功率之比
figure(8);                           %新建一个图形窗口8
plot(m,e);                           %做出m与e的关系曲线
xlabel('调制度m');                    %设定横纵坐标显示
ylabel('双边带总功率与平均总功率之比');
grid on
```

AM波的功率

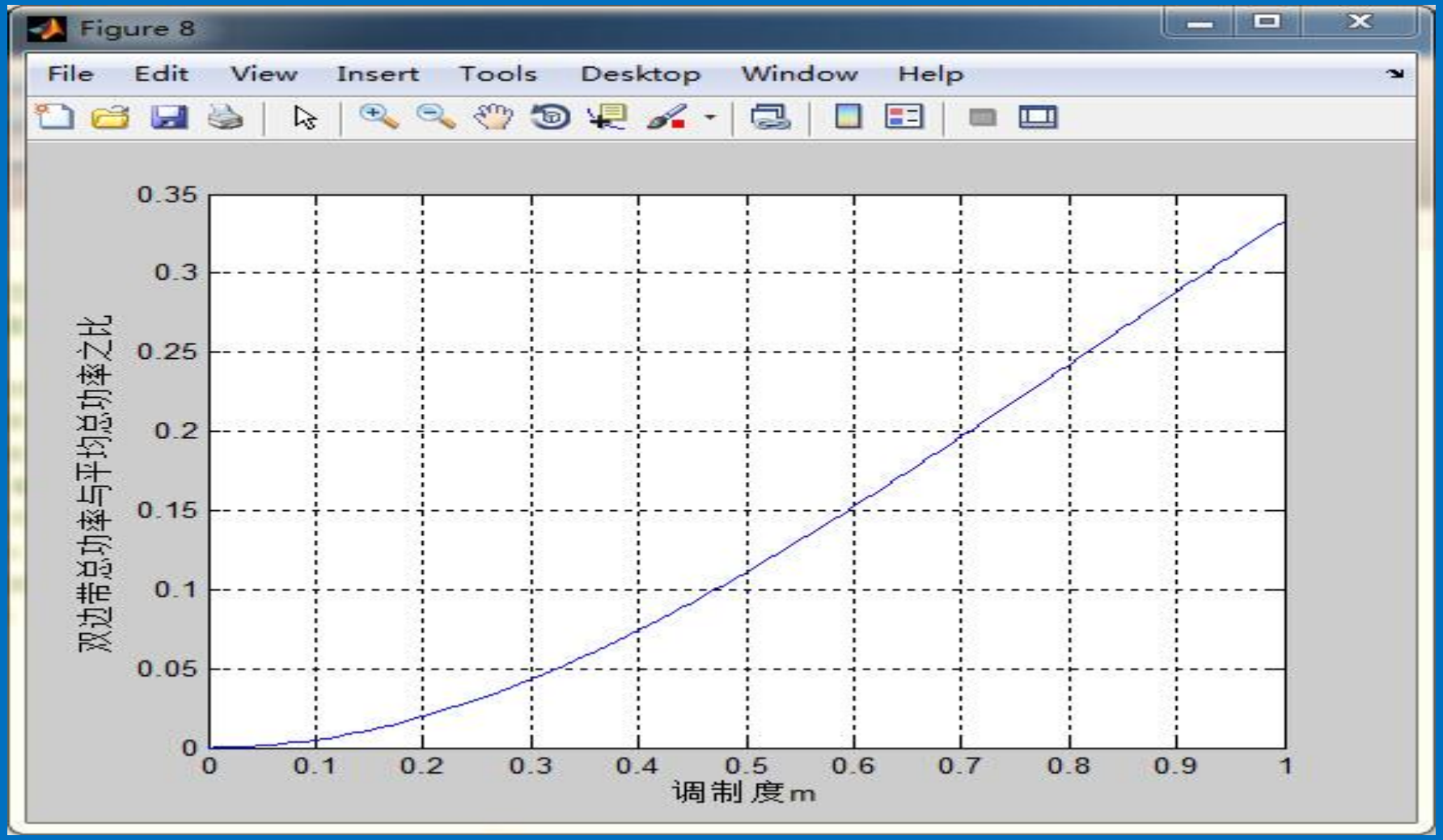


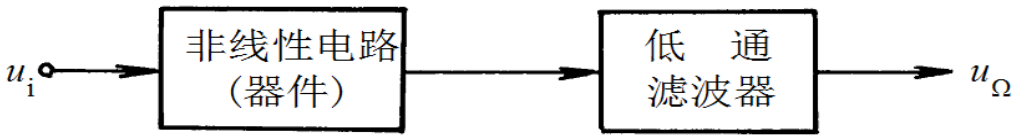
Figure 8
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
双边带总功率与平均总功率之比
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
调制度m

应该怎么检波呢……

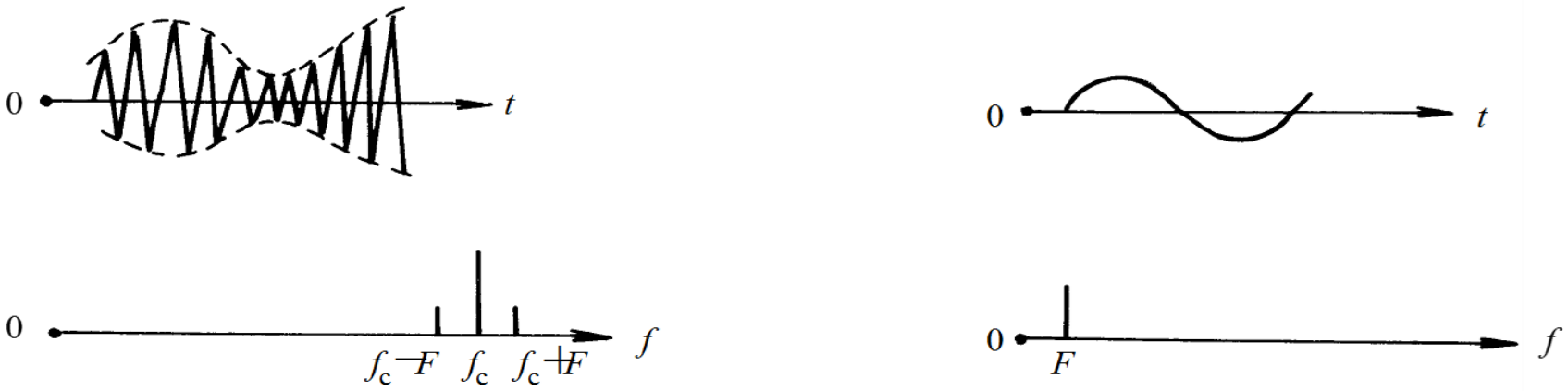
AM信号的解调

调制过程的逆过程叫做解调。振幅波解调方法可分为包络检波和同步检波两大类。包络检波是指解调器输出电压与输入已调波的包络成正比的检波方法。由于AM信号的包络与调制信号成线性关系，因此包络检波只适用于AM波。AM信号的解调是把接收到的已调信号还原为调制信号 。

AM信号的解调



(a)



(b)

AM波解调（包络检波法）

```
function [] =Jietiao1()
t=-1:0.00001:1;                          %t扫描范围-1到1
U1=5;                                    %载波信号幅度
U2=3;
f1=3000;                                 %载波信号频率
f2=3;
m=0.1;                                   %调制度为0.1
w1=2*pi*f1;                              %载波信号角频率
w2=2*pi*f2;
u2=1.2*U2*cos(w2*t)+U2*cos(2*w2*t)+1.8*U2*cos(3*w2*t);   %调制信号
u3=U1*(1+m*u2).*cos((w1)*t);             %AM已调信号
env=abs(hilbert(u3));                    %找出已调信号的包络
u4=18*(env-U1)*m;                        %去掉直流分量并重新缩放
figure(4);                               %新建一个图形窗口4
subplot(2,1,1);                          %将图形窗口一分为二，并把第一个作为当前图形窗口
plot(t,u4);                              %绘制解调波形
xlabel('t');ylabel('u4');                %横坐标为t，纵坐标显示为u4
title('AM已调信号的包络检波波形')  %标题为‘AM已调信号的包络检波波形’
axis([0,1,-15,15]);                       %设置显示范围

Y4=fft(u4);                               %对u4进行傅里叶变换
subplot(2,1,2);                           %将第二个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(abs(Y4));
xlabel('w');ylabel('Y4');
title('AM已调信号的包络检波频谱');   %标题为‘AM已调信号的包络检波频谱’
axis([0,250,0,2000000]);                  %设置显示范围
```

AM波解调（包络检波法）

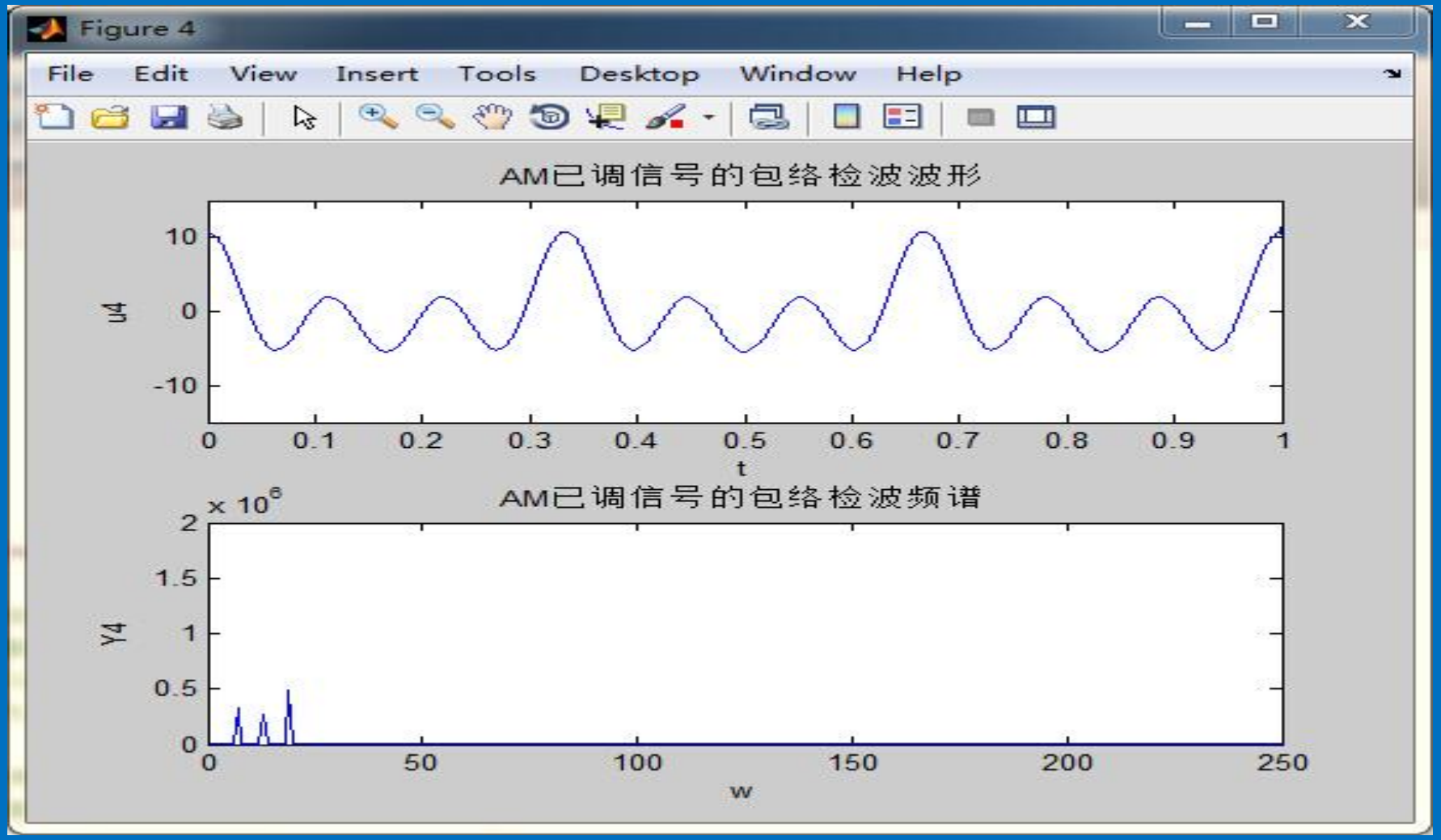


Figure 4
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help
AM已调信号的包络检波波形
u4
10
0
-10
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
t
AM已调信号的包络检波频谱
x 10^6
Y4
2
1.5
1
0.5
0
0 50 100 150 200 250
w

AM波解调（同步乘积型检波法）

```
function [ ] =Jietiao2()
t=-1:0.00001:1;                    %t扫描范围-1到1
U1=5;                              %载波信号幅度
U2=3;
f1=3000;                           %载波信号频率
f2=3;
m=0.1;                             %调制度为0.1
w1=2*pi*f1;                        %载波信号角频率
w2=2*pi*f2;
u2=1.2*U2*cos(w2*t)+U2*cos(2*w2*t)+1.8*U2*cos(3*w2*t);
                                   %调制信号
u3=U1*(1+m*u2).*cos((w1)*t);       %AM已调信号

u5=u3.*cos(w1*t);                   %滤波前的解调信号
figure(5);                          %新建图形窗口5
subplot(2,1,1);                     %将图形窗口一分为二，并把第一个作为当前图形窗口
plot(t,u5);                         %绘制滤波前的解调信号波形
xlabel('t');ylabel('u5');           %横坐标为t，纵坐标显示为u5
title('滤波前的解调信号波形');       %设置标题
```

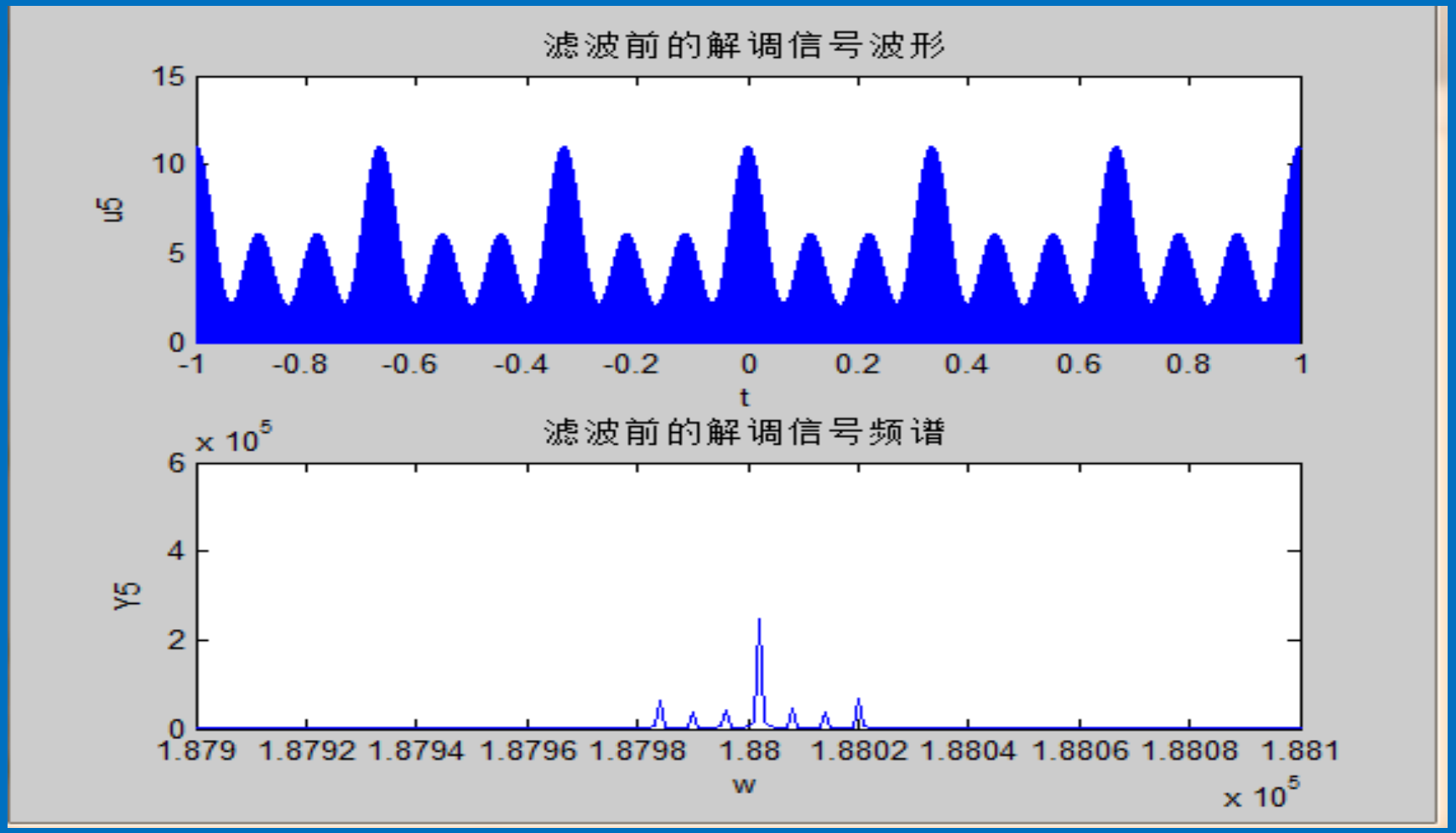
AM波解调（同步乘积型检波法）

```
Y5=fft(u5);                          %对u5进行傅里叶变换
subplot(2,1,2);                      %将第二个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(abs(Y5));                       %绘制Y5的波形
xlabel('w');ylabel('Y5');
title('滤波前的解调信号频谱');
axis([187900,188100,0,600000]);

f1=100;f2=200;                       %待滤波信号频率
fs=2000;                             %采样频率
m=(0.3*f1)/(fs/2);                   %定义过度带宽
M=round(8/m);                        %定义窗函数的长度
N=M-1;                               %定义滤波器的阶数
b=fir1(N,0.5*f2/(fs/2));             %使用fir1函数设计滤波器
                                     %输入的参数分别是滤波器的阶数和截止频率
figure(6)                            %新建图形窗口6
[h,f]=freqz(b,1,512);                %滤波器的幅频特性图
plot(f*fs/(2*pi),20*log10(abs(h)))       %参数分别是频率与幅值
xlabel('频率/赫兹');ylabel('增益/分贝');
title('滤波器的增益响应');
grid
```

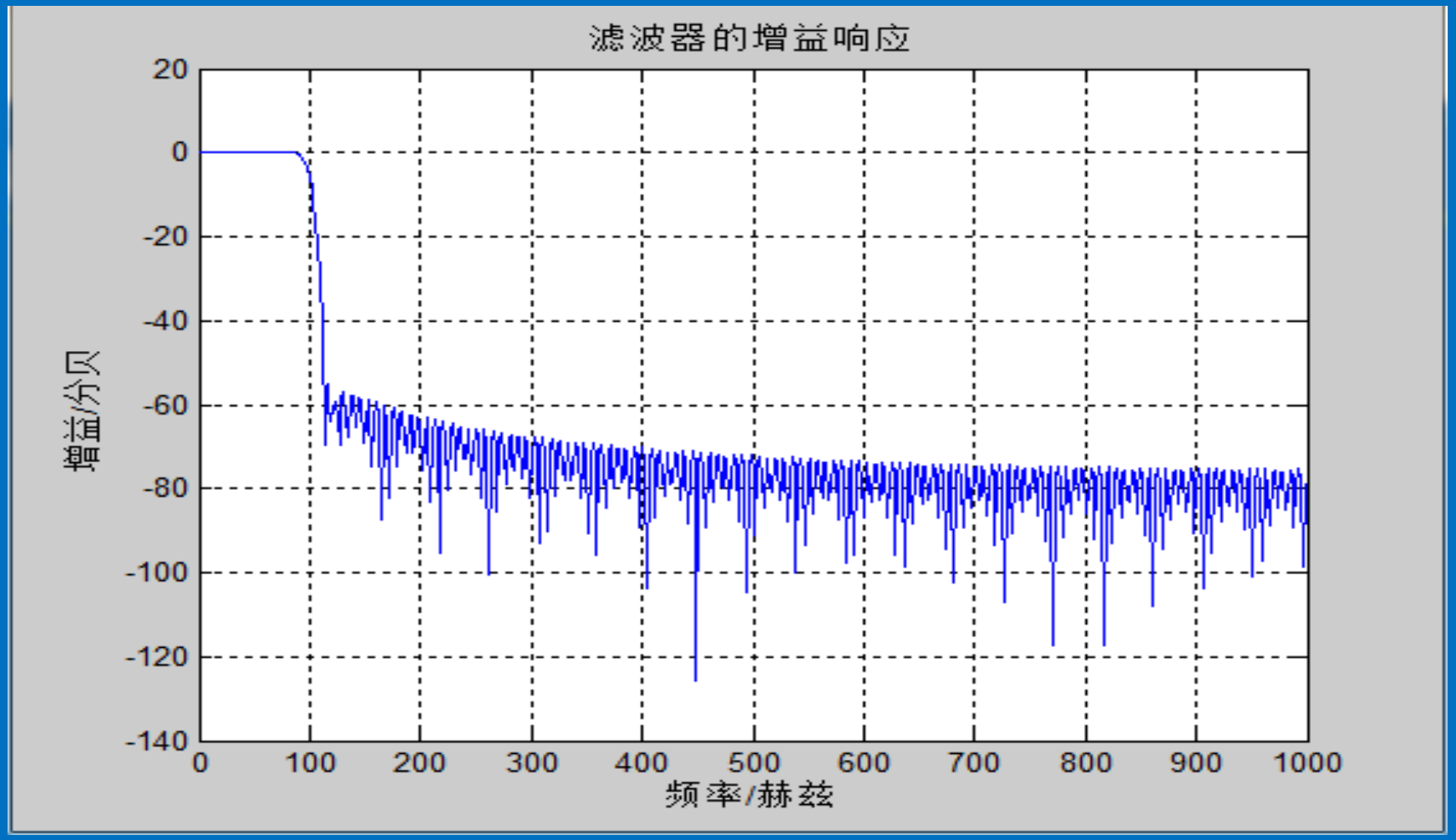
AM波解调（同步乘积型检波法）

```
u6=filter(b,1,u5);                    %滤波后的解调信号
figure(7);                            %新建图形窗口7
subplot(2,1,1);                       %将图形窗口一分为二，并把第一个作为当前图形窗口
plot(t,u6);                           %绘制滤波后的解调信号波形
xlabel('t');ylabel('u6');
title('滤波后的解调信号波形');

Y6=fft(u6);                          %对u6进行傅里叶变换
subplot(2,1,2);                      %将第二个子图形窗口作为当前图形窗口
plot(abs(Y6));                       %绘制Y6的波形
xlabel('w');ylabel('Y6');
title('滤波后的解调信号频谱');
axis([0,250,0,600000]);
```

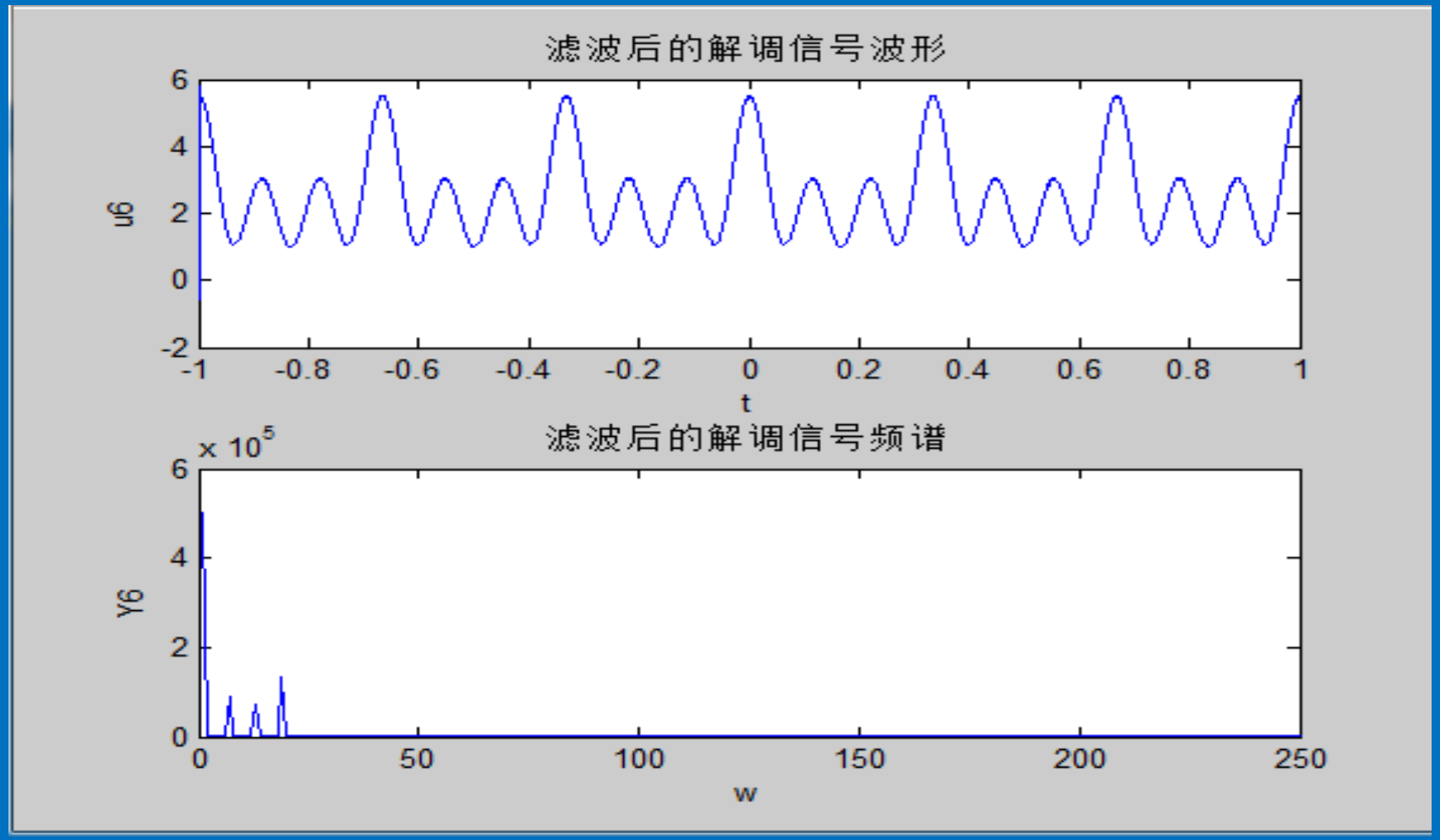
AM波解调（同步乘积型检波法）



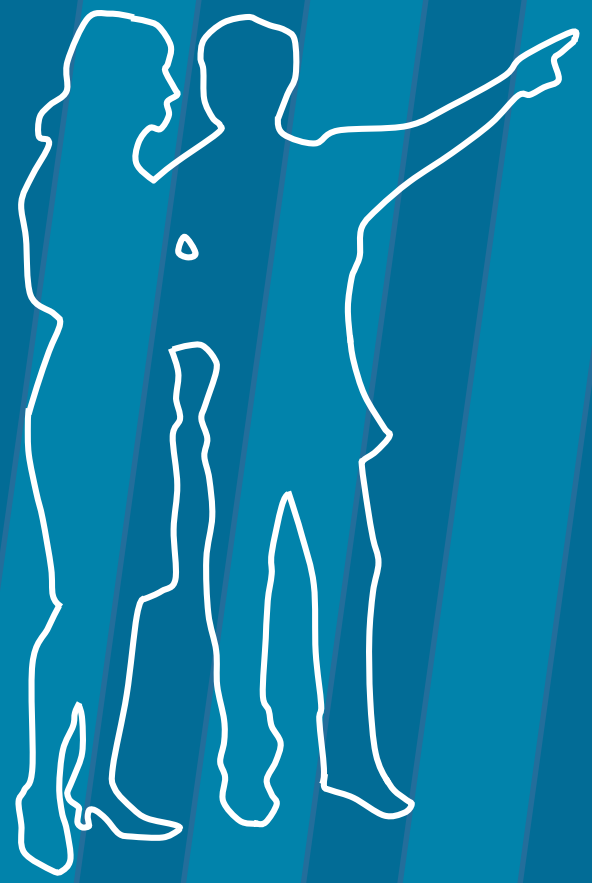
AM波解调（同步乘积型检波法）



AM波解调（同步乘积型检波法）



对比包络检波法和同步乘积型检波法



包络检波法解调效率高；解调电路简单，特别是接收端不需要与发送端同频同相位的载波信号，大大降低实现难度。

总结体会

在此次课程设计中，首先对设计原理进行分析，之后用到了处理数字信号的强有力工具MATLAB，通过MATLAB里几个命令函数的调用，很轻易的在调制信号与载波信号的理论之间搭了一座桥。最终实现了对AM信号实现调制与解调，并通过fft（傅里叶）变换，得出了调制信号和解调信号的频谱图；在滤波这一部分，课题主要是从巴特沃斯滤波器入手来设计低通滤波器等入手，实现了预期的滤波效果。

THANKS