



# 汕头大学工学院

## 三级项目报告

课程名称：信号与系统

三级项目题目：线性失真的计算机仿真与分析

指导教师：李旭涛

系别：电子工程系 专业：电子与计算机工程

	姓名	学号
组长	潘建刚	2018633019
成员	黄钰翔	2018633005
	林晓燕	2018633012
	郭思敏	2018633002
	姜志成	2018633007
	曾俊龙	2018633032

完成时间：2020年6月16日至6月23日

成绩：评阅人：李旭涛

# 1 内容与要求

## 1.1 内容

- (1) 无失真传输系统的概念，应满足的条件；
- (2) 幅度失真的涵义，仿真分析；
- (3) 相位失真的涵义，仿真分析；
- (4) 幅度、相位失真的仿真分析；
- (5) 总结。

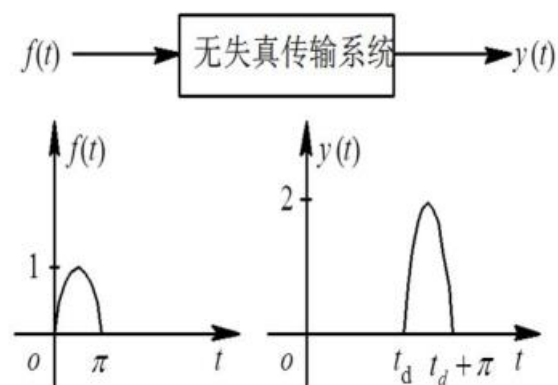
## 1.2 要求

5~6 人一组，提交 Word 文档。

# 2 报告正文

## 2.1 无失真传输系统的概念，应满足的条件

信号无失真传输是指系统的输出信号与输入信号相比，只有幅度的大小与出现的时间先后不同，而波形上没有变化。



假设输入信号为 $f(t)$

那么根据定义，信号经过无失真传输之后,输出信号应该为

$$y(t) = Kf(t - t_d)$$

其频谱关系为：

$$Y(j\omega) = Ke^{-j\omega t_d}F(j\omega)$$

要保持系统的无失真传输信号，以下条件：

(1) 对 $h(t)$ 的要求

$$h(t) = K\delta(t - t_d)$$

(2) 对 $h(j\omega)$ 的要求

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{F(j\omega)} = Ke^{-j\omega t_d}$$

即

$$|H(j\omega)| = K, \theta(\omega) = -\omega t_d$$

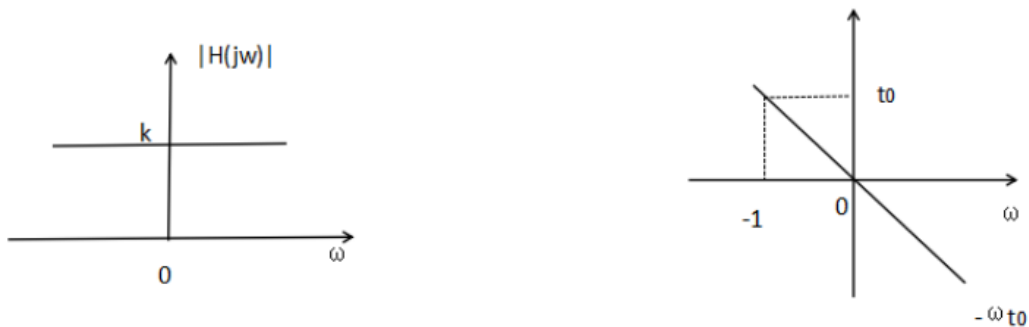
(1) 系统的幅频特性在整个频域范围内应为常数，即系统的通频带无穷大；

$$|H(j\omega)| = K$$

(2) 系统的相频特性在整个频率范围内应与 $\omega$ 成正比

$$\theta(\omega) = -\omega t_d$$

用图像表示即如下所示



## 2.2 线性失真的定义及发生条件

线性失真：输出信号中不会有输入信号中所没有的新的频率分量，各个频率的输出波形也不会变化。这种幅度的失真或者相位的失真是由该电路的线性电抗元件对不同频率的响应不同而引起的。

(1) 幅度失真：当 $|H(j\omega)|$ 不等于常数 $K$ 时引起的失真。由于系统对激励信号所有频率分量的幅度衰减不均等，导致输出波形产生的影响。

(2) 相位失真：当 $\theta(\omega) \neq -\omega t_d$ 时产生的失真。各频率分量的相移没有规律，导致各次谐波间相对位置发生变化。

## 2.3 Matlab 仿真代码展示

```
1. t=-4:1/100000:4;
2. y=exp(1i*4*pi*t)+exp(-1i*4*pi*t);
3. znt=interp(t,12); % 利用插值函数，提高采样率
4. zny=interp(y,12);
5. subplot(4,1,1),plot(znt,zny,'r');
6. xlabel('t');ylabel('x(t)');title('输入信号');
7. grid on; % 绘制 y=2cos(4*pi*t)
8.
9. b=exp(1i*1.5*pi)+exp(-1i*1.5*pi); % 相移 3/4 个单位
10. temp=b*y;
11. y1=temp-exp(-1i*4*pi*t)*exp(1i*1.5*pi)-exp(1i*4*pi*t)*exp(-1i*1.5*pi);
12. zns=interp(y1,12);
13. figure(1)
14. subplot(2,1,1),plot(znt,zny,'r');
15. xlabel('t');ylabel('x(t)');title('输入信号');
16. subplot(2,1,2),plot(znt,zns,'r');
17. xlabel('t');ylabel('x1(t)');title('相位失真'); % 绘制 y=2cos(4*pi*(t+3/4))
18. grid on;
19.
20. c=t; % 放大 t 倍
21. y2=y.*c;
22. zny2=interp(y2,12);
23. figure(2)
24. subplot(2,1,1),plot(znt,zny,'r');
25. xlabel('t');ylabel('x(t)');title('输入信号');
26. subplot(2,1,2),plot(znt,zny2,'r');
27. xlabel('t');ylabel('x2(t)');title('幅度失真'); % 绘制 y=t*2cos(4*pi*t)
28. grid on;
29.
30. y3=y1.*c;
31. zny3=interp(y3,12); % 幅度失真和相位失真组合到一起
32. figure(3)
33. subplot(2,1,1),plot(znt,zny,'r');
34. xlabel('t');ylabel('x(t)');title('输入信号');
35. subplot(2,1,2),plot(znt,zny3,'r');
36. xlabel('t');ylabel('x3(t)');title('相位幅度失真');% 绘制
    y=t*2cos(4*pi*(t+3/4))
37. grid on;
38.
```

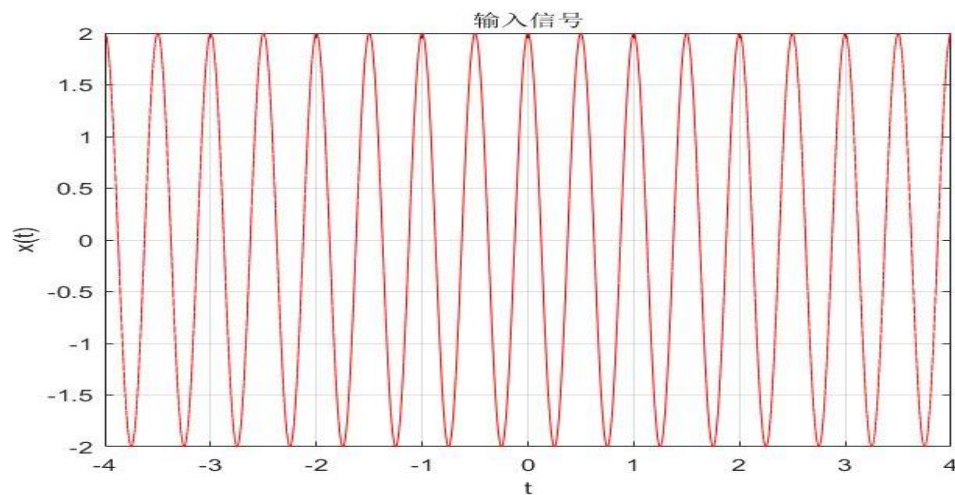
```

39. % 全部照片的对比图
40. figure(4)
41. subplot(4,1,1),plot(znt,zny,'r');
42. xlabel('t');ylabel('x(t)');title('输入信号');
43. subplot(4,1,2),plot(znt,zns,'r');
44. xlabel('t');ylabel('x1(t)');title('相位失真');
45. subplot(4,1,3),plot(znt,zny2,'r');
46. xlabel('t');ylabel('x2(t)');title('幅度失真');
47. subplot(4,1,4),plot(znt,zny3,'r');
48. xlabel('t');ylabel('x3(t)');title('相位幅度失真');

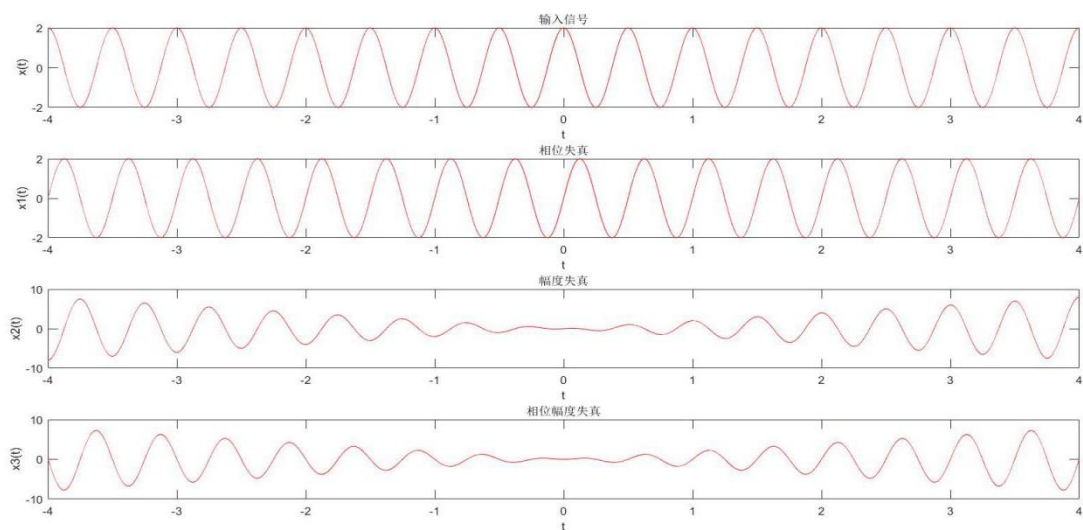
```

### 3 结果与分析

输入信号：余弦函数  $x(t)=2\cos(4\pi t)$

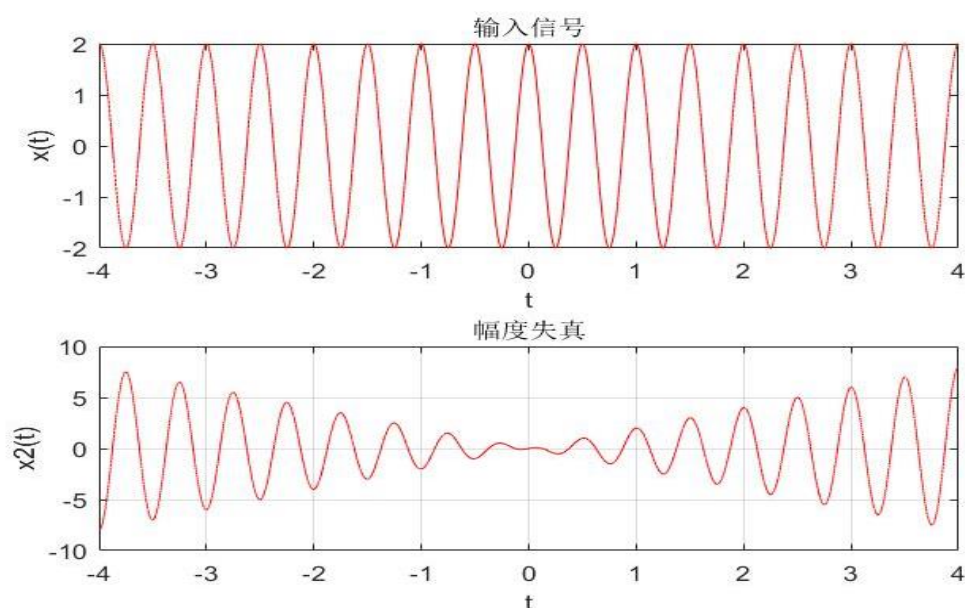


输入信号与相位失真、幅度失真及相位幅度失真的输出信号的对比图如下：



#### 3.1 幅度失真仿真分析

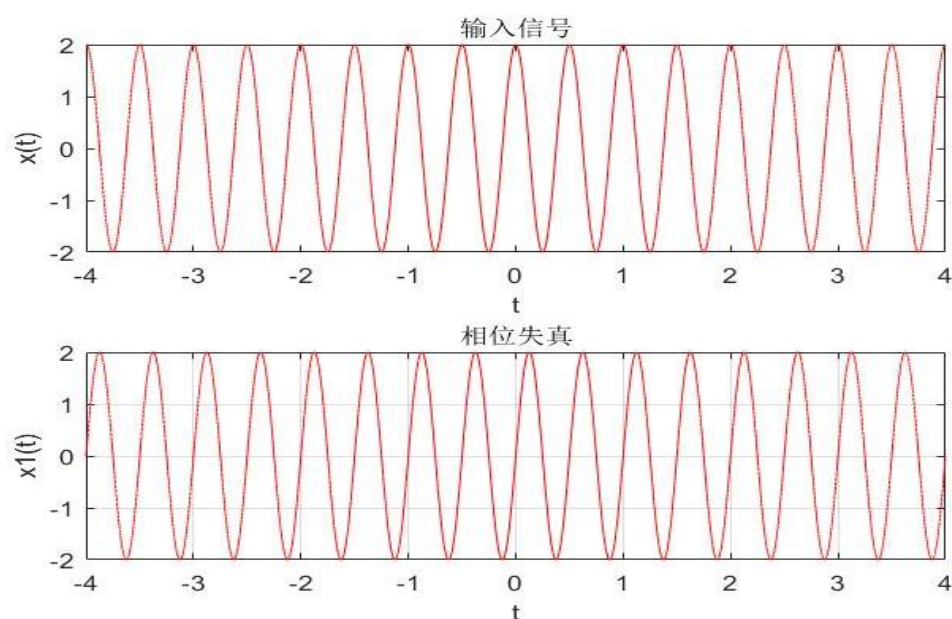
幅度失真：当 $|H(j\omega)|$ 不等于常数 $K$ 时引起的失真。由于系统对激励信号所有频率分量的幅度衰减不均等，使得响应信号各频率分量的相对幅度产生变化,从而引起幅度失真。



仿真分析：在输入信号函数基础上乘以变量  $t$ ，即函数变为 $x(t) = t * 2\cos(4\pi t)$ ，对两个仿真图进行对比，增大了  $t$  倍后，函数的相位特性并没有变化，而幅度随着时间的增大呈现出振荡增大的形式。

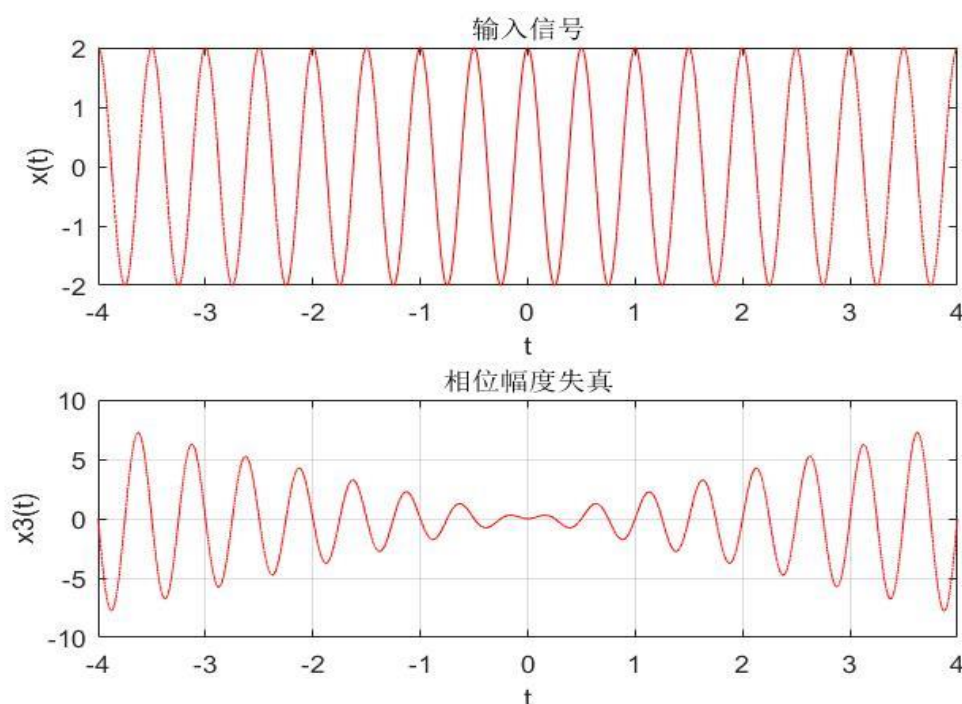
### 3.2 相位失真仿真分析

相位失真：当 $\theta(\omega) \neq -\omega t_d$ 时产生的失真。各频率分量的相移没有规律，及系统对信号各个频率分量产生的相移不与频率成正比，结果各个频率分量的相对相位产生变化,造成相位失真。



仿真分析：在输入信号函数的基础上向左移动 $3/4$ 个周期，即函数变为 $x(t) = 2\cos(4\pi(t + \frac{3}{4}))$ ，从与原图的对比中可以看到，函数的幅值和图形并没有变化，只表现在了时域上的时移，发生相位失真。

### 3.3 幅度、相位失真的仿真分析



仿真分析：同时进行相位失真和幅度失真的叠加，即函数表达式变为 $x(t) = t * 2\cos(4\pi(t + \frac{3}{4}))$ ，根据理论分析，从我们可以看出，在经过了两种失真的叠加之后，幅度确实变化了 $t$ 倍，而且移动了 $3/4$ 个单位，这与理论结果也是相吻合的。

#### 对于幅度失真与相位失真：

无论是幅度失真还是相位失真,信号并没有产生新的频率分量,所以它们属于线性失真。一般情况下,这两种失真是同时存在而且无法区分的.但是在某些情况下,一种失真所占的比重很小,可以忽略不计,从而另一种失真就突出地表现出来。

### 3.4 拓展：探究幅度失真和相位失真影响力

在奥本海姆 p274 页中也有提到，相位的改变和幅度的改变所产生的效果不一样。由此，在这里我用 Matlab 进行仿真来探究傅里叶变换的相位重要性。

在这里我用两张图片进行仿真，分别是彭于晏和吴彦祖的照片。我分别将他们的幅度谱和相位谱进行交换，来探究相位的重要性



### 3.4.1 Matlab 代码展示

```
1. % 读入吴彦祖和彭于晏的图像
2. X=imread('11.jpg');
3. Y=imread('22.jpg');
4.
5. % 转为灰度图
6. x = rgb2gray(X);
7. y = rgb2gray(Y);
8. % 傅里叶变换
9. xf=fft2(double(x));
10. yf=fft2(double(y));
11.
12. % 取幅度和相位
13. xf1=abs(xf);
14. xf2=angle(xf);
15. yf1=abs(yf);
16. yf2=angle(yf);
17.
18. % 交换相位
19. xfr=xf1.*cos(yf2)+xf1.*sin(yf2).*1i;
20. yfr=yf1.*cos(xf2)+yf1.*sin(xf2).*1i;
21.
22. % 傅里叶逆变换
23. xr=abs(ifft2(xfr));
24. yr=abs(ifft2(yfr));
25.
26. %转换成 uint8 类型
27. xf1=uint8(xf1);
28. xf2=uint8(xf2);
29. yf1=uint8(yf1);
30. yf2=uint8(yf2);
31. xr=uint8(xr);
32. yr=uint8(yr);
33.
34. %显示
35. figure(1)
36. subplot(2,2,1);imshow(x);title('吴彦祖 灰度图');
37. subplot(2,2,2);imshow(y);title('彭于晏 灰度图');
38. subplot(2,2,3);imshow(xr,[]);title('吴彦祖 幅度谱 与 彭于晏 相位谱');
39. subplot(2,2,4);imshow(yr,[]);title('彭于晏 幅度谱 与 吴彦祖 相位谱');
40.
41. figure(2)
42. subplot(2,2,1);imshow(xf1,[]);title('吴彦祖 幅度谱 ');
```



```
43. subplot(2,2,2);imshow(yf1,[]);title('彭于晏 幅度谱');
44. subplot(2,2,3);imshow(xf2,[]);title('吴彦祖 相位谱');
45. subplot(2,2,4);imshow(yf2,[]);title('彭于晏相位谱');
```

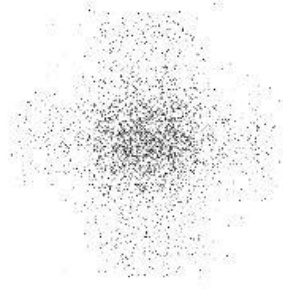
### 3.4.2 结果分析

输入图片：

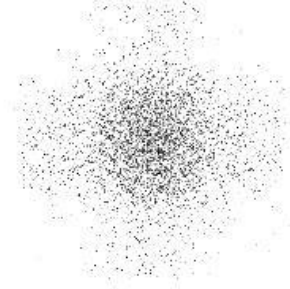


得到的相位谱：

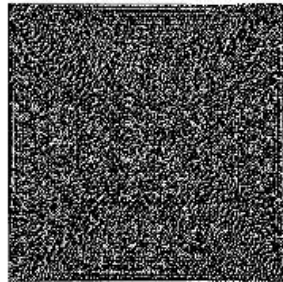
吴彦祖 幅度谱



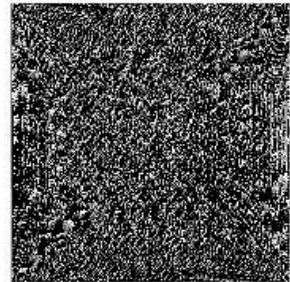
彭于晏 幅度谱



吴彦祖 相位谱



彭于晏相位谱



结果图：

吴彦祖 灰度图



彭于晏 灰度图



吴彦祖 幅度谱 与 彭于晏 相位谱



彭于晏 幅度谱 与 吴彦祖 相位谱



仿真结果分析：

吴彦祖图像的幅度谱和彭于晏图像的相位谱结合，并做逆傅里叶变换，看起来是彭于晏。而彭于晏图像的幅度谱和吴彦祖图像的相位谱结合，并做逆傅里叶变换，则看起来是吴彦祖。

主要原因就是，图像的相位谱中，保留了图像的边缘以及整体结构的信息，而幅度谱则只是反映了平均灰度值，错误的幅度谱加在正确的相位谱上面，就类似于一些噪声加在上面，但是对图片的主要信息没有影响。所以也就说明了，相位谱在图像当中相比于幅度谱更加重要。

## 4 总结

所有的周期信号都可以转换成傅里叶级数的表现形式，也就是各个频率分量的指数形式的线性叠加，因此，输出信号可以表示成每个频率分量乘上系统函数的线性叠加，系统函数可以表示成模和相位的乘积，因此，幅度失真就是系统函数的模不是一个常数造成的，而相位失真就是由于每个频率分量产生的时移不一致所造成的；幅频特性在无限宽的频率范围内保持常量，这是不可能实现的，因为实际上，由于所有的信号其能量总是随频率的增高而减

少。因此，系统只有足够大的频宽以保证包含绝大多数能量的频率分量能够通过，就可以获得较满意的传输质量。

## 5 参考文献

- [1] A.V.Oppenheim 等著，刘树棠 译. 信号与系统（第二版），西安交通大学出版社，2013.
- [2] 无失真传输.百度百科
- [3] D Ghiglia, M Pritt. Two Dimensional Phase Unwrapping: Theory, Algorithms and Software[M].
- [4] 么丽颖,张军.无失真传输和希尔伯特变换[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2005(06):53-55.