同濟大學

机械振动课程大作业（一）

学院 机械与能源工程学院

专业 机械设计制造及其自动化

学号 1851960

姓名 郑光泽

指导教师 朱传敏

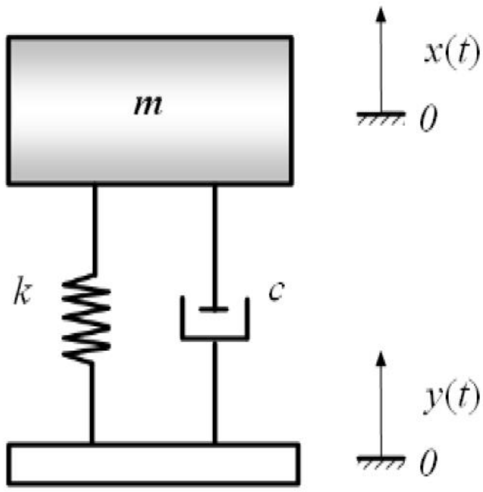
完成日期 2020 年 11 月 10 日

目录

一、题目要求

如图所示是一个小客车行走过程中悬挂系统隔振效果的单自由度分析模型。其中m为车身及乘客质量，k 是悬挂系统的刚度，c 是悬挂系统的阻尼，$y(t)$代表汽车在行走时由于路面不平顺引起的强迫位移激励。模型中的相关参数如下：

$m = 1200 + 200N_1\ kg$，$k = 50000 + 5000N_2\ \ N/m$ ，$C = 4000 + 300N_3\ \ N.s/m$ 。



作业要求：

1. 列出系统的运动方程，并求系统的固有频率w_n和阻尼比ξ ；
2. 如果激励为：

$$y(t) = \left[(N_3+5)(\sin 2\pi t) + (N_2+4)\sin\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right) + (N_1+3)\sin\left(8\pi t + \frac{\pi}{3}\right)\right] \times 10^{-3} m$$

求解稳态响应$x(t)$的表达式，并通过电算画出$0 \sim 2\ s$内激励$y(t)$、稳态响应$x(t)$及其它们对应的加速度$\ddot{y}(t)$和$\ddot{x}(t)$的时间历程图形；

3. 推导$H_{y,x}(w)$的表达式，并通过电算画出$H_{y,x}(w)$在$0 \sim 10 rad/s$以内的幅频特性和相频特性曲线；
4. 通过$H_{y,x}(w)$的幅频特性曲线，分析讨论作为一般的小客车悬挂系统，其固有频率w_n和阻尼比 ξ 的取值是否合理；
5. 在保持质量不变的前提下，讨论k和c的改进建议，并重新作出改进后的$H_{y,x}(w)$ 的幅频特性曲线和（2）中稳态响应加速度$x(t)$的时间历程图形。

二、确定初始参数

计算N_1、N_2、N_3、N_4参数如下：

$$N_1 = mod(1851960,5) = 0$$

$$N_2 = mod(1851960,7) = 5$$

$$N_3 = mod(1851960,9) = 3$$

$$N_4 = mod(1851960,11) = 0$$

模型中的相关参数计算如下：

$$m = (1200 + 200N_1)\ kg = (1200 + 200 \times 0)kg = 1200\ kg$$

$$k = (50000 + 5000N_2)N/m = (50000 + 5000 \times 5)N/m = 75000\ N/m$$

$$c = (4000 + 300N_3)N \cdot s/m = (4000 + 300 \times 3)N \cdot s/m = 4900\ N \cdot s/m$$

三、求解过程

3.1 固有频率与阻尼比

运动方程：

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = ky(t) + c\dot{y}(t)$$

将初始参数代入，可得：

$$1200\ddot{x}(t) + 4900\dot{x}(t) + 75000x(t) = 75000y(t) + 4900\dot{y}(t)$$

因此，系统的固有频率：

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{75000}{1200}} = 7.906\ rad/s$$

阻尼比：

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}} = \frac{4900}{2\sqrt{1200 \times 75000}} = 0.258$$

3.2 稳态响应表达式与时间历程图形

激励表达式为：

$$y(t)=\left[(N_3+5)(sin\,2\pi t)+(N_2+4)\,sin\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)+(N_1+3)\,sin\left(8\pi t+\frac{\pi}{3}\right)\right]\times 10^{-3}\ m$$

将初始参数代入，可得：

$$y(t)=\left[8\times(sin\,2\pi t)+9\times sin\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)+3\times sin\left(8\pi t+\frac{\pi}{3}\right)\right]\times 10^{-3}\ m$$

进而有：

$$\dot{y}(t)=\left[16\pi(cos\,2\pi t)+36\pi\,cos\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)+24\pi\,cos\left(8\pi t+\frac{\pi}{3}\right)\right]\times 10^{-3}\ m$$

进一步，系统的运动方程为：

$$\begin{aligned}&1200\ddot{x}(t)+4900\dot{x}(t)+75000x(t)\\&=75\times\left[8\times(sin\,2\pi t)+9\times sin\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)+3\times sin\left(8\pi t+\frac{\pi}{3}\right)\right]\\&\quad+4.9\times\left[16\pi(cos\,2\pi t)+36\pi\,cos\left(4\pi t+\frac{\pi}{2}\right)+24\pi\,cos\left(8\pi t+\frac{\pi}{3}\right)\right]\ mm\\&=605.100\,sin(2\pi t+0.130)+697.669\,sin(4\pi t+0.256)+253.879\,sin(8\pi t+0.482)\ mm\end{aligned}$$

上式中，激励部分包含三个频率成分，可用叠加原理三个频率成分分别进行求解：

1）计算频率比：

$$\lambda_1=\frac{w_1}{w_n}=\frac{2\pi}{7.906}=0.795$$
$$\lambda_2=\frac{w_2}{w_n}=\frac{4\pi}{7.906}=1.590$$
$$\lambda_3=\frac{w_3}{w_n}=\frac{8\pi}{7.906}=3.179$$

2）计算三个激励对应的稳态响应幅值x_{u1}，x_{u2}，x_{u3}：

$$x_{u1}=\frac{f_{u1}}{k\sqrt{\left(1-{\lambda_1}^2\right)^2+(2\xi\lambda_1)^2}}=\frac{605.100}{75000\times\sqrt{(1-0.795^2)^2+(2\times0.258\times0.795)^2}}=1.46\times10^{-2}\ m$$

$$x_{u2}=\frac{f_{u2}}{k\sqrt{\left(1-{\lambda_2}^2\right)^2+(2\xi\lambda_2)^2}}=\frac{697.669}{75000\times\sqrt{(1-1.590^2)^2+(2\times0.258\times1.590)^2}}=5.36\times10^{-3}\ m$$

$$x_{u3}=\frac{f_{u3}}{k\sqrt{\left(1-{\lambda_3}^2\right)^2+(2\xi\lambda_3)^2}}=\frac{253.879}{75000\times\sqrt{(1-3.179^2)^2+(2\times0.258\times3.179)^2}}=3.66\times10^{-4}\ m$$

3）计算稳态响应与激励之间的相位差：

$$\theta_1=-tan^{-1}\frac{2\xi\lambda_1}{1-{\lambda_1}^2}+0.130=-tan^{-1}\frac{2\times0.258\times0.795}{1-0.795^2}+0.130=-0.710\ rad$$

$$\theta_2 = -\tan^{-1}\frac{2\xi\lambda_2}{1-{\lambda_2}^2} + 0.256 = -\tan^{-1}\frac{2\times 0.258\times 1.590}{1-1.590^2} - \pi + 0.256 = -2.350\,rad$$

$$\theta_3 = -\tan^{-1}\frac{2\xi\lambda_3}{1-{\lambda_3}^2} + 0.482 = -\tan^{-1}\frac{2\times 0.258\times 3.179}{1-3.179^2} - \pi + 0.482 = -2.463\,rad$$

由此可得，运动方程的稳态解为：

$$x(t) = 1.46\times 10^{-2}\sin(2\pi t - 0.710) + 5.36\times 10^{-3}\sin(4\pi t - 2.350)$$
$$+ 3.66\times 10^{-4}\sin(8\pi t - 2.838)\ m$$

而

$$y(t) = \left[8\times(\sin 2\pi t) + 9\times\sin\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right) + 3\times\sin\left(8\pi t + \frac{\pi}{3}\right)\right]\times 10^{-3}\ m$$

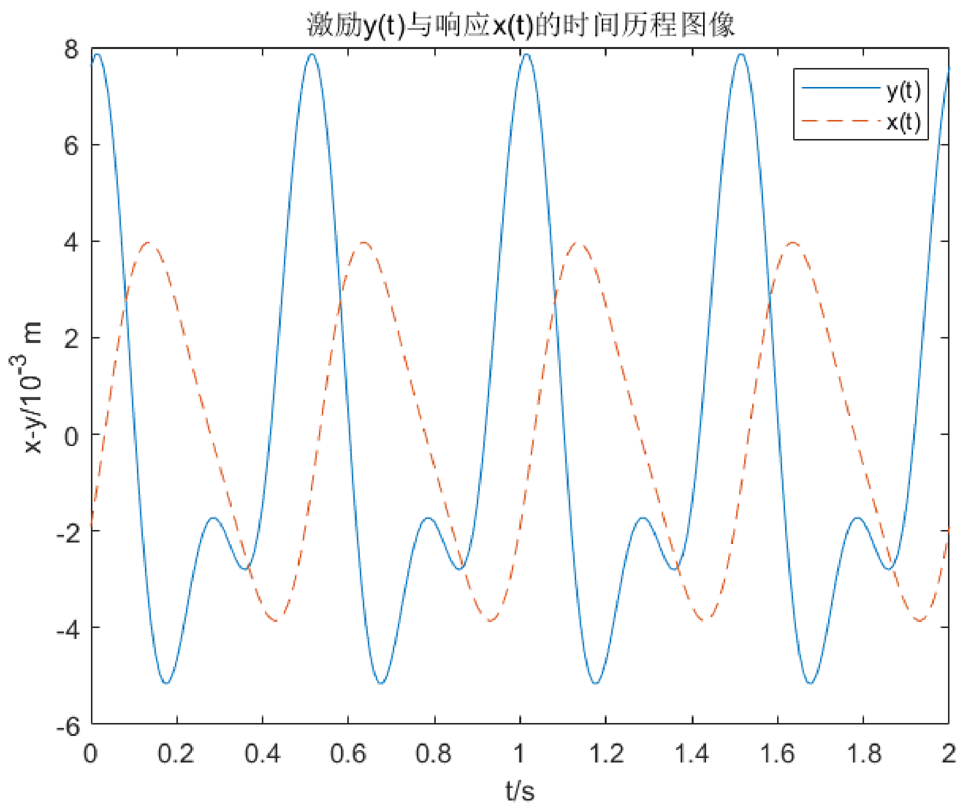
可得$\ddot{x}(t)$和$\ddot{y}(t)$表达式：

$$\ddot{x}(t) = -0.576\times\sin(2\pi t - 0.710) - 0.846\times\sin(4\pi t - 2.350) - 0.231\times\sin(8\pi t - 2.462)\ m$$

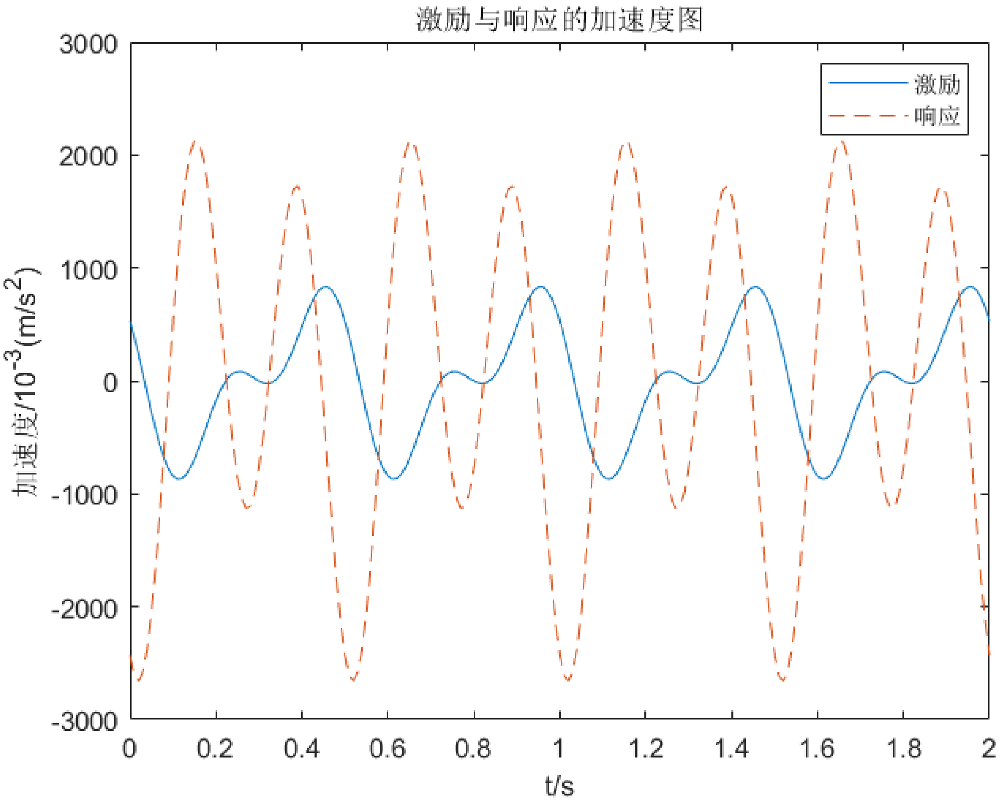
$$\ddot{y}(t) = \left[-32\times\pi^2\sin(2\pi t) - 144\times\pi^2\sin\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right) - 192\times\pi^2\sin\left(8\pi t + \frac{\pi}{3}\right)\right]\times 10^{-3}\ m$$

对应的函数图像如下：

$y(t)$、$x(t)$图像：



$\ddot{y}(t)$、$\ddot{x}(t)$图像：



3.3 幅频特性曲线与相频特性曲线

将基础的强制运动位移$y(t)$为系统的输入，质量m的位移$x(t)$为系统的输出，则输出关于输入的频率响应函数为：

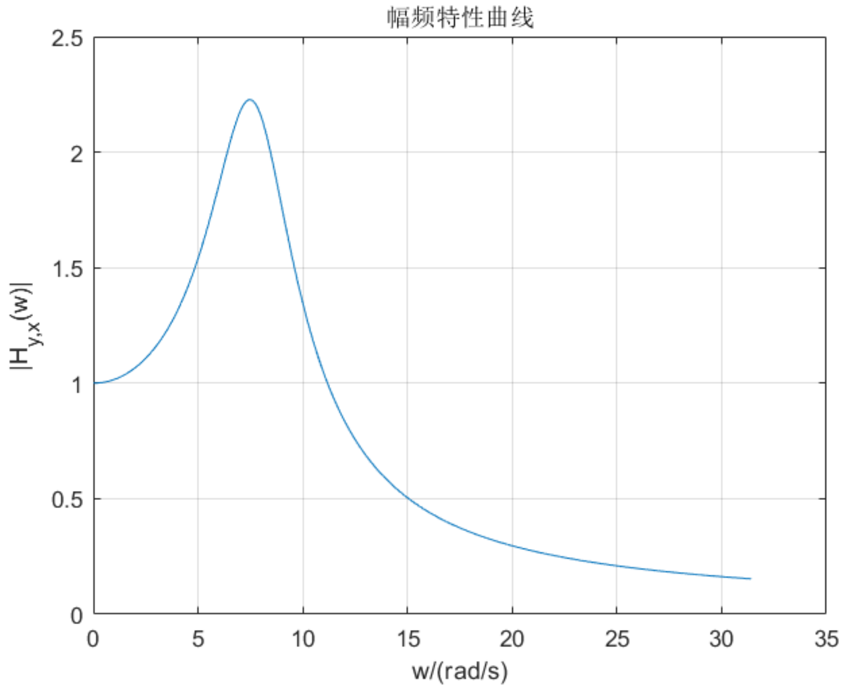
$$H_{y,x}(w)=\frac{X(w)}{Y(w)}=\frac{X(w)}{P(w)}\times\frac{P(w)}{Y(w)}=\frac{k+jwc}{(k-w^2m)+jwc}$$

$H_{y,x}(w)$的幅频特性函数为：

$$\left|H_{y,x}(w)\right|=\frac{|k+jwc|}{|(k-w^2m)+jwc|}=\frac{\sqrt{1+(2\,\xi\,\lambda)^2}}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2+(2\,\xi\,\lambda)^2}}$$

$$=\frac{\sqrt{1+\left(2\times0.258\times\frac{w}{7.906}\right)^2}}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{w}{7.906}\right)^2\right)^2+\left(2\times0.258\times\frac{w}{7.906}\right)^2}}$$

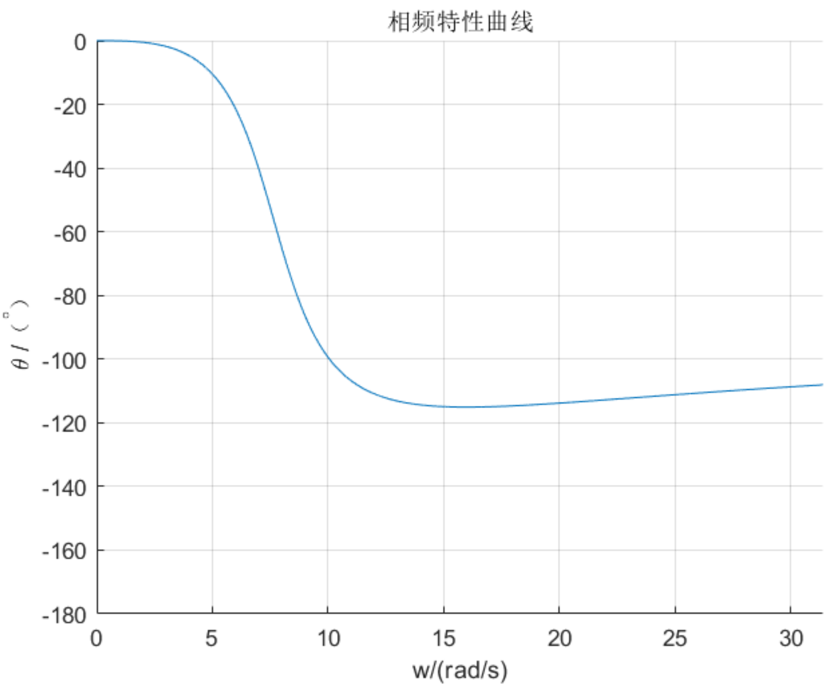
幅频特性曲线：



$H_{y,x}(w)$的相频特性函数为：

$$\theta = \left(tan^{-1}\frac{cw}{k} - tan^{-1}\frac{cw}{k-w^2m}\right) \div \pi \times 180^{\circ}$$
$$= \left(tan^{-1}\frac{4900w}{75000} - tan^{-1}\frac{4900w}{75000-1200w^2}\right) \div \pi \times 180^{\circ}$$

相频特性曲线：



3.4 分析幅频特性曲线

3.4.1 固有频率分析

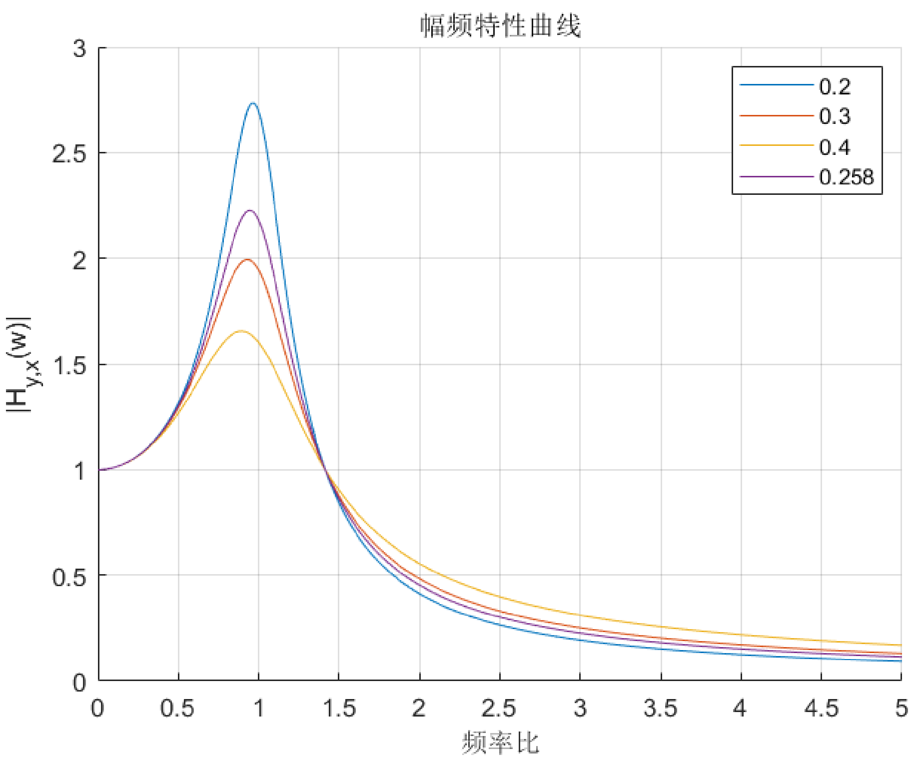
根据已知条件，结合$H_{y,x}(w)$的幅频曲线，隔振区的临界激励频率为：

$$w = \sqrt{2}w_n = \sqrt{2} \times 7.906rad/s = 11.181rad/s$$

满足$w > 2\pi, w < 4\pi, 8\pi$。故激励的三个频率成分中，只有两个频率成分在隔振区工作，仍有一个成分在隔振区外，故不合理。

3.4.2 阻尼比分析

根据参考资料[3]，小型客车的阻尼比一般为0.2~0.4，这样既能保证较好的隔振性，汽车在行驶过程中也能保证较好的平顺性（即振动方向上加速度的响应幅值不会过大）。能满足在外来激励复杂时，其减震系统在共振区与非共振区都有好的减振效果即在共振区能使最大幅度偏小，在隔振区也能保持较小的振幅。改变 k 和 c,使得阻尼比ξ分别为 0.2、0.258、0.3、0.4，再画入同一图中得：



而题中阻尼比为0.258，结合$H_{y,x}(w)$曲线，在$w>\sqrt{2}w_n$时，响应幅值较小，故满足要求。

3.5 改进后幅频特性曲线和稳态相应加速度时间历程图形

应满足

$$w_n=\sqrt{\frac{k}{m}}<\frac{2\pi}{\sqrt{2}}$$

$$0.2<\xi=\frac{c}{2\sqrt{mk}}<0.4$$

在满足m不变的情况下，可取 $k=20000, c=3000$ 满足上述条件。

此时，

$$w_n=\sqrt{\frac{k}{m}}=\sqrt{\frac{20000}{1200}}=4.082rad/s$$

$$\xi=\frac{c}{2\sqrt{mk}}=\frac{3000}{2\times\sqrt{1200\times 20000}}=0.306$$

频率响应函数为：

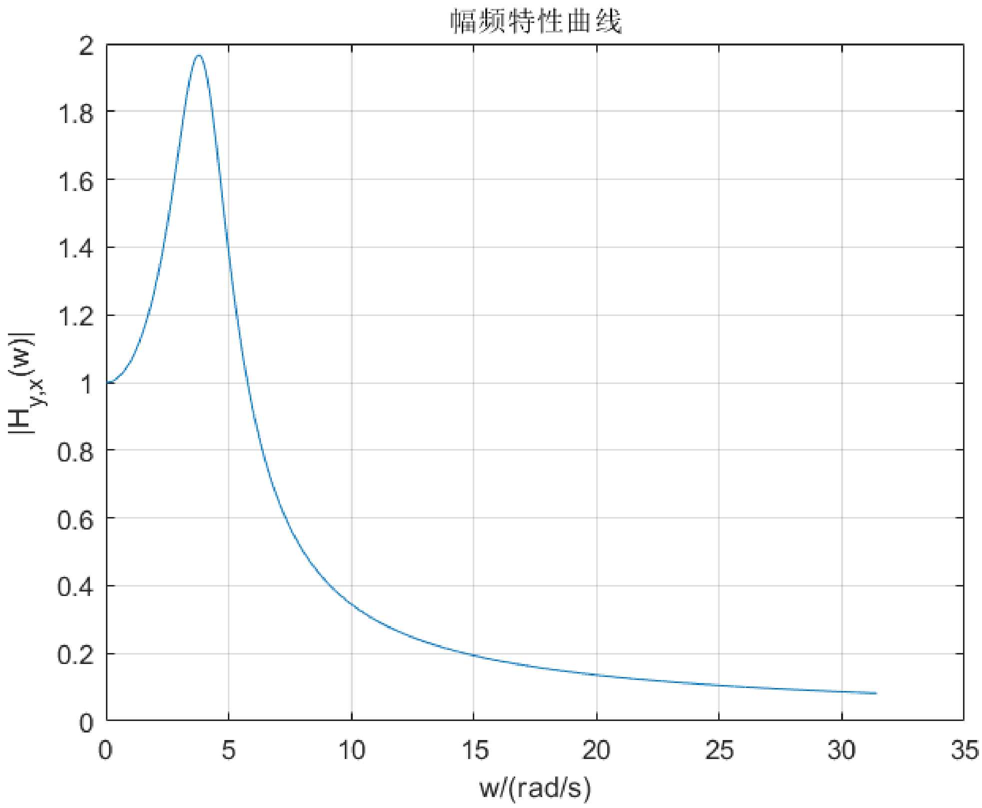
$$H_{y,x}(w)=\frac{k+jwc}{(k-w^2m)+jwc}$$

$H_{y,x}(w)$的幅频特性函数为：

$$\left|H_{y,x}(w)\right|=\frac{|k+jwc|}{|(k-w^2m)+jwc|}=\frac{\sqrt{1+(2\,\xi\,\lambda)^2}}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2+(2\,\xi\,\lambda)^2}}$$

$$=\frac{\sqrt{1+\left(2\times 0.306\times\frac{w}{4.082}\right)^2}}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{w}{4.082}\right)^2\right)^2+\left(2\times 0.306\times\frac{w}{4.082}\right)^2}}$$

幅频特性曲线：



系统的运动方程为：

$$
\begin{aligned}
&1200(t) + 3000\dot{x}(t) + 20000x(t) \\
&= 20 \times \left[8 \times (\sin 2\pi t) + 9 \times \sin\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right) + 3 \times \sin\left(8\pi t + \frac{\pi}{3}\right)\right] \\
&+3 \times \left[16\pi(\cos 2\pi t) + 36\pi \cos\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right) + 24\pi \cos\left(8\pi t + \frac{\pi}{3}\right)\right]\ mm
\end{aligned}
$$

$$
= 167.045 \sin(2\pi t + 0.291) + 209.914 \sin(4\pi t + 0.540) + 93.723 \sin(8\pi t + 0.876)
$$

上式中，激励部分包含三个频率成分，可用叠加原理三个频率成分分别进行求解：

1）计算频率比：

$$
\lambda_1 = \frac{w_1}{w_n} = \frac{2\pi}{4.082} = 1.539
$$

$$
\lambda_2 = \frac{w_2}{w_n} = \frac{4\pi}{4.082} = 3.078
$$

$$
\lambda_3 = \frac{w_3}{w_n} = \frac{8\pi}{4.082} = 6.157
$$

2）计算三个激励对应的稳态响应幅值x_{u1}，x_{u2}，x_{u3}：

$$
x_{u1} = \frac{f_{u1}}{k\sqrt{\left(1-{\lambda_1}^2\right)^2 + (2\xi\lambda_1)^2}} = \frac{167.045}{20000 \times \sqrt{(1-1.539^2)^2 + (2 \times 0.306 \times 1.539)^2}} = 0.00503\, m
$$

$$x_{u2}=\frac{f_{u2}}{k\sqrt{\left(1-{\lambda_2}^2\right)^2+(2\xi\lambda_2)^2}}=\frac{209.914}{20000\times\sqrt{(1-3.078^2)^2+(2\times0.306\times3.078)^2}}=0.00121\,m$$

$$x_{u3}=\frac{f_{u3}}{k\sqrt{\left(1-{\lambda_3}^2\right)^2+(2\xi\lambda_3)^2}}=\frac{93.723}{20000\times\sqrt{(1-6.157^2)^2+(2\times0.306\times6.157)^2}}=0.000126\,m$$

3）计算稳态响应与激励之间的相位差：

$$\theta_1=-tan^{-1}\frac{2\xi\lambda_1}{1-{\lambda_1}^2}+0.291=-tan^{-1}\frac{2\times0.306\times1.539}{1-1.539^2}-\pi+0.291=-2.248\,rad$$

$$\theta_2=-tan^{-1}\frac{2\xi\lambda_2}{1-{\lambda_2}^2}+0.540=-tan^{-1}\frac{2\times0.306\times3.078}{1-3.078^2}-\pi+0.540=-2.383\,rad$$

$$\theta_3=-tan^{-1}\frac{2\xi\lambda_3}{1-{\lambda_3}^2}+0.876=-tan^{-1}\frac{2\times0.306\times6.157}{1-6.157^2}-\pi+0.876=-2.164\,rad$$

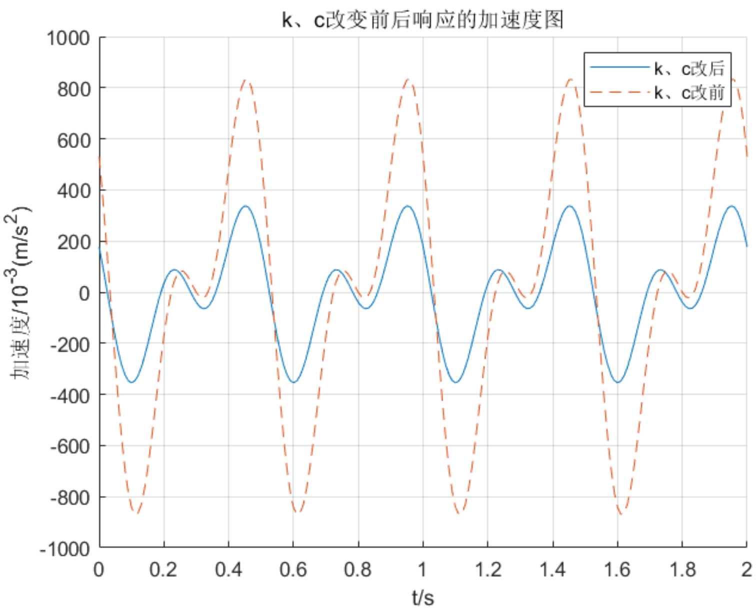
由此可得，运动方程的稳态解为：

$$x(t)=0.00503\times sin(2\pi t-2.348)+0.00121\times sin(4\pi t-2.383)$$
$$+0.000126\times sin(8\pi t-2.164)$$

可得$\ddot{x}(t)$表达式：

$$\ddot{x}(t)=-0.199\,sin(2\pi t-2.348)-0.191\,sin(4\pi t-2.383)-0.080\,sin(8\pi t-0.164)$$

通过对比，可以看出修改后的系统更加合理：



四、参考资料

[1] 机械振动（第二版） 同济大学出版社

[2] 控制工程基础（第四版） 清华大学出版社

[3] 汽车理论（第六版） 机械工业出版社

五、代码附录

```
syms  x1 x2 x3 x4 y1 y2 y3 y4 y x t;
c=4900;k=75000;m=1200;
N1=0;N2=5;N3=3;
w1=2*pi;w2=4*pi;w3=8*pi;
wn=sqrt(k/m);r=c/(2*sqrt(m*k));
r1=w1/wn;r2=w2/wn;r3=w3/wn;
y1(t)=k*N1*sin(w1*t)+c*N1*w1*cos(w1*t);
y2(t)=k*N2*sin(w2*t+pi/2)+c*N2*w2*cos(w2*t+pi/2);
y3(t)=k*N3*sin(w3*t+pi/3)+c*N3*w3*cos(w3*t+pi/3);
x1(t)=wei(N1*k,k,r1,r)*sin(w1*t+xiang(r,r1))+wei(c*N1*w1,k,r1,r)*cos(w1*t+xiang(
r,r1));
x2(t)=wei(N2*k,k,r2,r)*sin(w2*t+pi/2+xiang(r,r2))+wei(c*N2*w2,k,r2,r)*cos(w2*t+p
i/2+xiang(r,r2));
x3(t)=wei(N3*k,k,r3,r)*sin(w3*t+pi/3+xiang(r,r3))+wei(c*N3*w3,k,r3,r)*cos(w3*t+p
i/3+xiang(r,r3));
y(t)=N1*sin(w1*t)+N2*sin(w2*t+pi/2)+N3*sin(w3*t+pi/3);
x(t)=x1+x2+x3;
x4(t)=diff(x,2);                              的函数
y4(t)=diff(y,2);
t=0:0.01:2;
x4=x4(t);y4=y4(t);
y=y(t);x=x(t);
figure(1)
plot(t,y,'-',t,x,'--')
hold on
xlabel('t/s');
ylabel('x-y/10^{-3} m');
title('激励y(t)与响应x(t)的时间历程图像');
legend('y(t)','x(t)')
figure(2)
plot(t,x4,'-',t,y4,'--')
title('激励与响应的加速度图')
xlabel('t/s')
ylabel('加速度/10^{-3}(m/s^2)')
legend('激励','响应')
w=0:0.01:10*pi;
p=k/m;
L= (sqrt((c.* w ).^2 + k^2)) ./...
    (sqrt((k-m.*w.^2).^2 + (c .* w).^2));
figure(3)
plot(w,L)
grid on
hold on
title('幅频特性曲线')
xlabel('w/(rad/s)')
ylabel('|H_{y,x}(w)|')
n= -180+(atan((c*w)./k))*180/pi+90+...
(((atan(c*w)./k)-(atan((c*w)./(k-m*(w.*w)))))*180/pi+90).*(w.*w<p)+...
    (((atan(c*w)./k)-(atan((c*w)./(k-m*(w.*w)))))*180/pi-90).*(w.*w>p);
figure (4)
hold on
plot(w,n)
grid on
axis([0 10*pi -180 0]);
title('相频特性曲线')
```

```
xlabel('w/(rad/s)')
ylabel('\theta /（^\circ）')
figure(5)
hold on
for p=[0.2,0.3,0.4,r]
    b=0:0.01:5;
    n1= (sqrt((2*p.*b).^2 + 1)) ./...
         (sqrt((1-b.^2).^2 + (2*p.* b).^2));
    plot(b,n1)
    grid on
    hold on
end
title('幅频特性曲线')
xlabel('频率比')
ylabel('|H_{y,x}(w)|')
legend('0.2','0.3','0.4','0.258')
figure(6)
x6=respondacclerate(4900,75000,1200,N1,N2,N3);
plot(t,x4,'-',t,x6,'--')
grid on
title('k、c改变前后响应的加速度图')
xlabel('t/s')
ylabel('加速度/10^{-3}(m/s^2)')
legend('k、c改前','k、c改后')
figure(7)
L1=respondfupin(4900,75000,1200);
plot(w,L,'-',w,L1,'--')
grid on
hold on
title('k、c改变前后响应的幅频特性曲线')
xlabel('w/(rad/s)')
ylabel('|H_{y,x}(w)|')
legend('k、c改前','k、c改后')
figure(8)
x5=respondzhuhan(4900,75000,1200,N1,N2,N3);
plot(t,x,'-',t,x5,'--')
hold on
xlabel('t/s');
ylabel('x-y/10^{-3} m');
title('k、c前后响应x(t)的时间历程图像');
legend('k、c改前','k、c改后')


function x=xiang(d,r)
if r<1
   x=-atan(2*d*r/(1-r^2));
else
    x=-atan(2*d*r/(1-r^2))-pi;
end

function x=wei(a,k,d,r)
x=a/(k*sqrt((1-d^2)^2+(2*d*r)^2));

a1 = 75*3;
a2 = 4.9*24;
t1 = sqrt(a1^2+a2^2);
t2 = atan(a2/a1);
```

```
b1 = 253.879;
b2 = 3.179;
x  = b1/75000/(sqrt((1-b2^2)^2+(2*0.258*b2)^2));

c1 =3.179;
theta = atan(2*0.258*c1/(1-c1^2))-pi+0.482;

function x5=respondzhuhan(c,k,m,N1,N2,N3)
syms  x1 x2 x3 x4 y1 y2 y3 y4 y x t;
w1=2*pi;w2=4*pi;w3=8*pi;                  %求固有参数
wn=sqrt(k/m);r=c/(2*sqrt(m*k));
r1=w1/wn;r2=w2/wn;r3=w3/wn;               %计算频率比
y1(t)=k*N1*sin(w1*t)+c*N1*w1*cos(w1*t);   %分解为三个激励
y2(t)=k*N2*sin(w2*t+pi/2)+c*N2*w2*cos(w2*t+pi/2);
y3(t)=k*N3*sin(w3*t+pi/3)+c*N3*w3*cos(w3*t+pi/3);
x1(t)=wei(N1*k,k,r1,r)*sin(w1*t+xiang(r,r1))+wei(c*N1*w1,k,r1,r)*cos(w1*t+xiang(
r,r1));%不同激励下的响应函数
x2(t)=wei(N2*k,k,r2,r)*sin(w2*t+pi/2+xiang(r,r2))+wei(c*N2*w2,k,r2,r)*cos(w2*t+p
i/2+xiang(r,r2));
x3(t)=wei(N3*k,k,r3,r)*sin(w3*t+pi/3+xiang(r,r3))+wei(c*N3*w3,k,r3,r)*cos(w3*t+p
i/3+xiang(r,r3));
y(t)=N1*sin(w1*t)+N2*sin(w2*t+pi/2)+N3*sin(w3*t+pi/3);
x5(t)=x1+x2+x3;                              %响应函数
t=0:0.01:2;
x5=x5(t);

function L1=respondfupin(c,k,m)
w=0:0.01:10*pi;
L1= (sqrt((c.* w ).^2 + k^2)) ./...    %幅频特性曲线函数
    (sqrt((k-m.*w.^2).^2 + (c .* w).^2));

function x4=respondacclerate(c,k,m,N1,N2,N3)
syms  x1 x2 x3 x4 y1 y2 y3 y4 y x t;
w1=2*pi;w2=4*pi;w3=8*pi;                  %求固有参数
wn=sqrt(k/m);r=c/(2*sqrt(m*k));
r1=w1/wn;r2=w2/wn;r3=w3/wn;               %计算频率比
y1(t)=k*N1*sin(w1*t)+c*N1*w1*cos(w1*t);   %分解为三个激励
y2(t)=k*N2*sin(w2*t+pi/2)+c*N2*w2*cos(w2*t+pi/2);
y3(t)=k*N3*sin(w3*t+pi/3)+c*N3*w3*cos(w3*t+pi/3);
x1(t)=wei(N1*k,k,r1,r)*sin(w1*t+xiang(r,r1))+wei(c*N1*w1,k,r1,r)*cos(w1*t+xiang(
r,r1));%不同激励下的响应函数
x2(t)=wei(N2*k,k,r2,r)*sin(w2*t+pi/2+xiang(r,r2))+wei(c*N2*w2,k,r2,r)*cos(w2*t+p
i/2+xiang(r,r2));
x3(t)=wei(N3*k,k,r3,r)*sin(w3*t+pi/3+xiang(r,r3))+wei(c*N3*w3,k,r3,r)*cos(w3*t+p
i/3+xiang(r,r3));
y(t)=N1*sin(w1*t)+N2*sin(w2*t+pi/2)+N3*sin(w3*t+pi/3);
x(t)=x1+x2+x3;                              %响应函数
x4(t)=diff(x,2);                            %求加速度的函数
t=0:0.01:2;
x4=x4(t);
```