



北京理工大学
Beijing Institute of Technology

本科生实验报告

课程名称： 信号与线性系统

实验名称： 实验 2 LTI 系统的频域分析

任课教师：			实验教师：		
实验日期：			实验地点：		
实验类型：	<input checked="" type="checkbox"/> 原理验证 <input checked="" type="checkbox"/> 综合设计 <input checked="" type="checkbox"/> 自主创新				
学生姓名：		班级：		学号：	
学 院：	信息与电子学院			专 业：	电子信息工程（徐特立英才班）
组 号：		同组同学：	（无需填写）		
成 绩：					



信息与电子学院

SCHOOL OF INFORMATION AND ELECTRONICS

实验 2 LTI 系统的频域分析

一、 实验目的

1. 加深对 LTI 系统频率响应、系统函数的掌握和理解。
2. 掌握 LTI 系统频率特性的分析方法。

二、 实验原理与方法

系统的频率响应定义为系统单位冲击响应的傅里叶变换，即：

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

若 LTI 连续时间系统的输入信号为 $x(t)$ ，系统的零状态响应为：

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (2)$$

根据卷积定理，输出的频率响应可表示为：

$$Y(\omega) = X(\omega)H(\omega) \quad (3)$$

系统的频域响应反映了对不同频率成分信号的响应特性，是系统固有的特性，它可表示为：

$$H(\omega) = |H(\omega)|e^{-jq(\omega)} \quad (4)$$

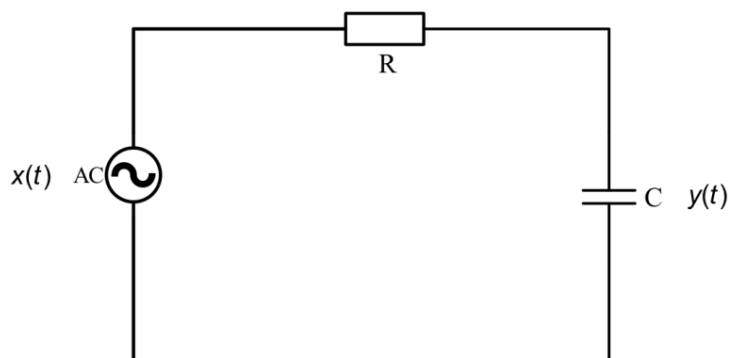
其中， $|H(\omega)|$ 表示系统的幅频响应， $q(\omega)$ 表示系统的相频响应。

当复指数信号作用于系统时，系统的响应 $y(t)$ 仍为同频率的复指数信号，即：

$$y(t) = d(t) * h(t) = e^{-j\omega t} H(\omega) \quad (5)$$

三、 实验内容

已知一个 RC 电路如下图所示。



1. 写出系统函数；

由题意，该电路的系统函数为：

$$H(j\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + j\omega CR} \quad (6)$$

2. 对不同的 RC 值，用 MATLAB 画出系统的幅频响应，并分析 RC 电路具有何种频率特性（低通、高通）？RC 的参数值与系统幅频响应有什么样的关系？

MATLAB 代码如下：

```
1. % 定义不同的 RC 值
2. RC_values = [0.001, 0.01, 0.1];
3.
4. % 定义频率范围
5. omega = logspace(0, 5, 1000);
6.
7. figure;
8. for i = 1:length(RC_values)
9.     RC = RC_values(i);
10.    H = 1 ./ (1 + 1j * omega * RC); % 计算系统函数
11.    mag_H = abs(H); % 计算幅频响应的幅度
12.    loglog(omega, mag_H); % 用对数坐标绘制幅频响应
13.    hold on;
14. end
15.
16. % 画 RC 电路幅频响应
17. xlabel('\omega (rad/s)');
18. ylabel('|H(j\omega)|');
19. title('RC 电路幅频响应');
20. legend(cellstr(num2str(RC_values', 'RC = %g')));
21. grid on;
```

对于不同的 RC 值，系统的幅频响应如下图所示：

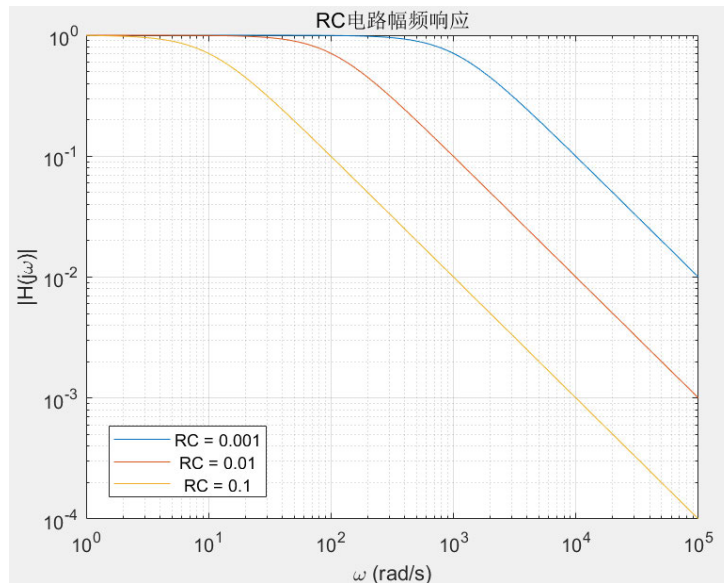


图 1: RC 电路的幅频响应

由上图可知，当 ω 很小时（低频）， $|H(j\omega)| \approx 1$ ，信号能较好通过；当 ω 很大时（高频）， $|H(j\omega)| \approx 0$ ，高频信号被抑制。所以 RC 电路是低通滤波器。

对于系统幅频响应，RC 值越大，截止频率越低，对高频信号的抑制效果较好；RC 值越小，截止频率越高，对高频信号的抑制会在更高频率才开始明显体现。

3. 系统输入信号 $x(t) = \cos(2\pi \times 100t) + \cos(2\pi \times 3000t)$, $t = 0 - 0.2s$,

包含一个低频分量和一个高频分量。通过确定适当的 RC 参数，滤除信号的高频分量。并绘制出滤波前后的时域信号波形及系统的频率响应曲线。

```

1. % 采样参数设置
2. Fs = 10000;
3. T = 1/Fs;
4. t = 0:T:0.2-T;
5. N = length(t);
6.
7. % 生成输入信号
8. f1 = 100;
9. f2 = 3000;
10. x = cos(2*pi*f1*t) + cos(2*pi*f2*t);
11.
12. % 设计 RC 低通滤波器
13. RC = 1/(1000*pi); % RC 时间常数，对应截止频率 fc=500Hz
14. fc = 1/(2*pi*RC);
15.
16. % 正确计算系统频率响应(双边)

```

```

17. f = (-N/2:N/2-1)*(Fs/N);
18. H = 1./(1 + 1j*2*pi*abs(f)*RC);
19.
20. % 频域滤波实现(修正版)
21. X = fftshift(fft(x));
22. Y = X .* H;
23. y = ifft(ifftshift(Y));
24.
25. % 计算频谱用于可视化
26. X_mag = abs(X)/N;      % 原始信号幅度谱
27. Y_mag = abs(Y)/N;      % 滤波后信号幅度谱
28.
29. % 绘制时域波形
30. figure('Position', [100, 100, 800, 600]);
31.
32. subplot(2,1,1);
33. plot(t, x);
34. title('原始输入信号  $x(t) = \cos(2\pi \cdot 100t) + \cos(2\pi \cdot 3000t)$ ');
35. xlabel('时间 (s)');
36. ylabel('幅度');
37. grid on;
38.
39. subplot(2,1,2);
40. plot(t, real(y));
41. title(['滤波后信号 (RC = ', num2str(RC), ' s, fc = ', num2str(fc), ' Hz)']);
42. xlabel('时间 (s)');
43. ylabel('幅度');
44. grid on;
45.
46. % 绘制系统频率响应曲线
47. figure('Position', [100, 200, 800, 600]);
48. w = logspace(0, 5, 1000);
49.
50. % 幅频响应子图
51. subplot(2,1,1);
52. H_mag = abs(1 ./ (1 + 1j*w*RC)); % 计算幅频响应
53. loglog(w, H_mag, 'LineWidth', 1.5, 'Color', '#0072BD'); % 蓝色曲线, 匹配常见图表风格
54. hold on;
55. title('RC 电路幅频响应');
56. xlabel('\omega (rad/s)');
57. ylabel('|H(j\omega)|');
58. grid on;

```

```

59. set(gca, 'XScale', 'log', 'YScale', 'log');
60.
61. % 相频响应子图
62. subplot(2,1,2);
63. H_phase = angle(1 ./ (1 + 1j*w*RC)) * 180/pi; % 相位转角度
64. semilogx(w, H_phase, 'LineWidth', 1.5, 'Color', '#0072BD'); % 蓝色曲线
65. hold on;
66. title('RC 电路相频响应');
67. xlabel('\omega (rad/s)');
68. ylabel('相位 (°)');
69. grid on;
70. set(gca, 'XScale', 'log');

```

通过观察 RC 电路，当设定截止频率为 500Hz 时可在滤除高频分量的同时很大程度上保留低频分量此时 $RC = 3.183 \times 10^{-4}$ 滤波前后的时域信号波形如下图所示：

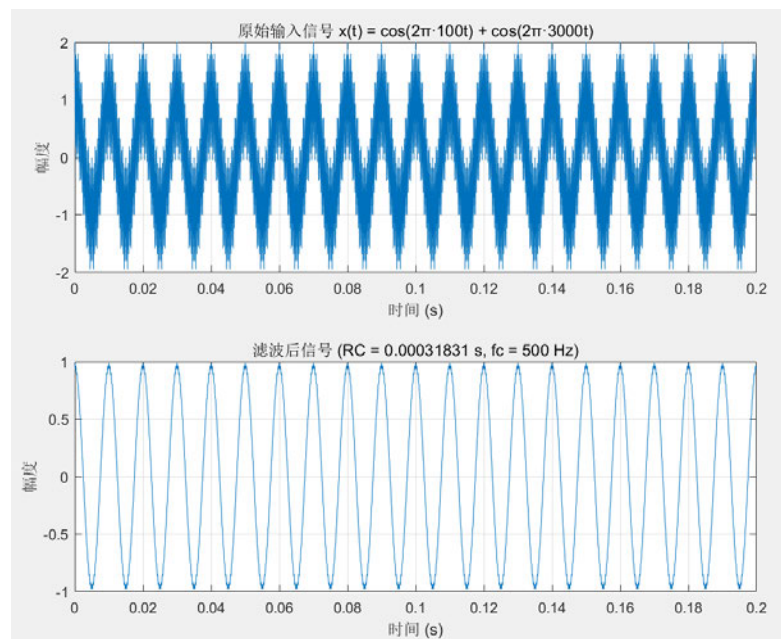


图 2：滤波前后的时域信号波形

观察上图可得，设计的 RC 低通滤波器可以在有效滤除高频分量的同时保留低频分量，符合设计要求。

系统的频率响应曲线如下图所示：

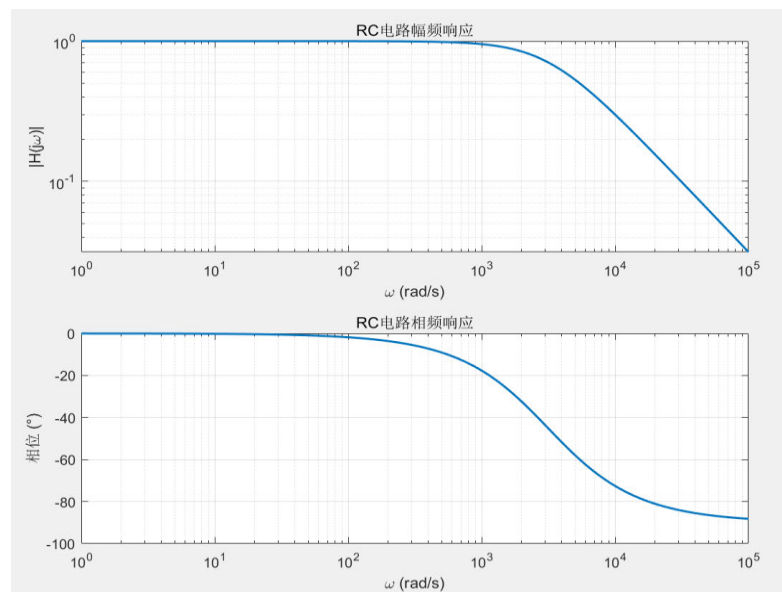


图 3：频率响应曲线

观察上图可知，该频率特性曲线与理论分析的结果十分相近，进一步验证了设计的正确性。