一、实验目的

- 掌握傅里叶变换正反变换的定义及求解方法；
- 掌握非周期信号的频谱密度函数的求解方法，并用 Matlab 绘制频谱图；
- 掌握频域系统函数的概念和物理意义；
- 利用 Matlab 实现连续时间系统的频域分析。

二、实验环境

- 操作系统：Windows10
- 编程软件：Matlab2019b

三、实验涉及的部分 MATLAB 函数

1、syms

- 功能：声明符号变量
- 调用格式：syms x, y；声明 x、y 为符号变量。

2、fourier

- 功能：计算符号函数的傅里叶变换
- 调用格式：fourier(f)；计算符号函数 f 的傅里叶变换。

3、ifourier

- 功能：计算符号函数的傅里叶反变换
- 调用格式：ifourier(F)；计算符号函数 F 的傅里叶反变换。

4、angle

- 功能：求幅角
- 调用格式：P = angle(Z)；计算复数 Z 的幅角，返回结果在$[-\pi,\pi]$之间。

四、实验内容

1、实验一：周期信号的周期信号的 FS 实验

定义一个周期信号 $f(t)$为矩形脉冲序列，如图 1 所示，设定 $E=1,\tau=1,T=2$。

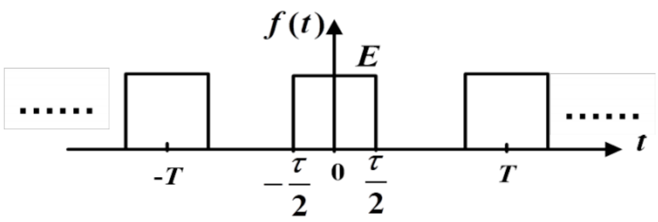


图 1. 矩形脉冲序列

（1）利用三角函数/正余弦正交函数集合，对周期信号 $f(t)$进行三角傅里叶级数展开，写出其三角傅里叶级数表达式。

$$
\begin{cases}
a_0 = \dfrac{1}{T}\displaystyle\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\mathrm{d}t \\
a_n = \dfrac{2}{T}\displaystyle\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\cos n\Omega t\mathrm{d}t \\
b_n = \dfrac{2}{T}\displaystyle\int_{t_0}^{t_0+T} f(t)\sin n\Omega t\mathrm{d}t
\end{cases}
$$

$$
\begin{aligned}
a_0 &= \frac{1}{T}\int_{-\tau/2}^{\tau/2} E\mathrm{d}t = E\frac{\tau}{t} = \frac{1}{2} \\
a_n &= \frac{2}{T}\int_{-\tau/2}^{\tau/2} E\cos n\Omega t\mathrm{d}t = \frac{2E}{\pi n}\sin(\frac{n\Omega\tau}{2}) = \frac{2}{\pi n}\sin(\frac{n\pi}{2}) \\
b_n &= 0(f(t)\text{是偶函数})
\end{aligned}
$$

$$
a_n = \begin{cases} 0, & \text{n为偶数} \\ \frac{2}{\pi n}, & \text{n} = 4\text{k}+1,\text{k为自然数} \\ -\frac{2}{\pi n}, & \text{n} = 4\text{k}+3,\text{k为自然数} \end{cases}
$$

综上，$f(t) = \dfrac{1}{2} + \dfrac{2}{\pi}\cos(\pi t) - \dfrac{2}{3\pi}\cos(3\pi t) + \dfrac{2}{5\pi}\cos(5\pi t) - \dfrac{2}{7\pi}\cos(7\pi t) + ...$

即：$f(t) = \dfrac{1}{2} + \displaystyle\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2}{n\pi}sin(\frac{n\pi}{2})cos(n\pi t)$

（2）利用 MATLAB 画出其三角傅里叶级数展开表达式中的前 3 项之和(每项系数不为0)，画出其前 5 项之和(每项系数不为0)，画出其前 20 项之和(每项系数不为0)，观察它们近似原信号的程度。

- 源代码

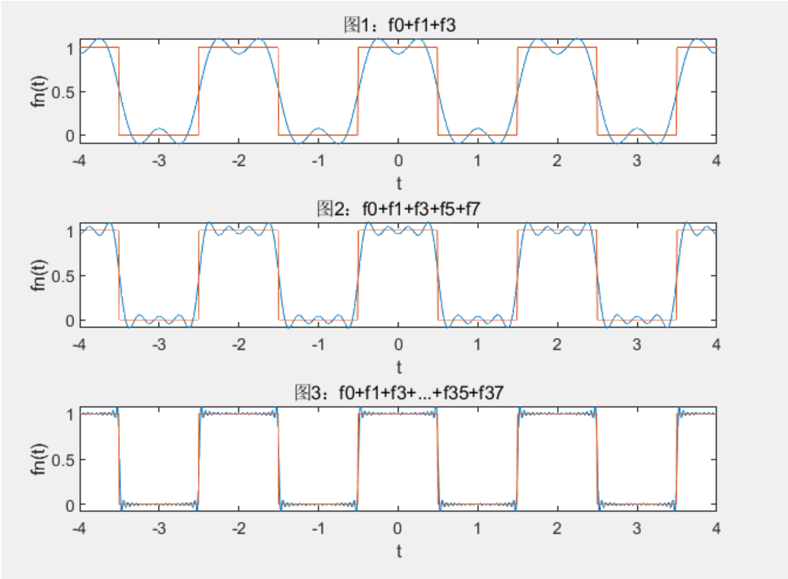
```
t = -4:0.01:4;
a_0 = 1/2
%a_n = 2/(pi*k)
%% 创建矩形脉冲信号
rect_pulse = 0.5 + 0.5*square(pi*(t+0.5));
%% 前 3 项之和
n = 3;
for k = 1:n
    if k == 1
        f_n = a_0;
    elseif mod(k,2) == 0
        f_n = f_n + 2/(pi*(2*k-3)) * cos((2*k-3)*pi*t);
```

```
    else
        f_n = f_n - 2/(pi*(2*k-3)) * cos((2*k-3)*pi*t);
    end
end
subplot(3,1,1);
plot(t,f_n,t,rect_pulse);
%% 设置xy坐标轴，子图名称
xlabel('t');
ylabel('fn(t)');
title('图1：f0+f1+f3');

%% 前 5 项之和
n = 5;
for k = 1:n
    if k == 1
        f_n = a_0;
    elseif mod(k,2) == 0
        f_n = f_n + 2/(pi*(2*k-3)) * cos((2*k-3)*pi*t);
    else
        f_n = f_n - 2/(pi*(2*k-3)) * cos((2*k-3)*pi*t);
    end
end
subplot(3,1,2);
plot(t,f_n,t,rect_pulse);
%% 设置xy坐标轴，子图名称
xlabel('t');
ylabel('fn(t)');
title('图2：f0+f1+f3+f5+f7');

%% 前 20 项之和
n = 20;
for k = 1:n
    if k == 1
        f_n = a_0;
    elseif mod(k,2) == 0
        f_n = f_n + 2/(pi*(2*k-3)) * cos((2*k-3)*pi*t);
    else
        f_n = f_n - 2/(pi*(2*k-3)) * cos((2*k-3)*pi*t);
    end
end
subplot(3,1,3);
plot(t,f_n,t,rect_pulse);
%% 设置xy坐标轴，子图名称
xlabel('t');
ylabel('fn(t)');
title('图3：f0+f1+f3+...+f35+f37');
```

- 结果图



- 结论：观察可知，傅里叶级数项数越多，与原信号拟合越接近。

（3）利用虚指数正交函数集合，对周期信号 $f(t)$进行指数傅里叶级数展开，写出其指数傅里叶级数表达式。

$$\begin{cases} F_0 = a_0 \\ F_n = \frac{1}{2}(a_n - jb_n) \\ F_{-n} = \frac{1}{2}(a_n + jb_n) \end{cases}$$

$$F_0 = \frac{1}{2}$$

$$F_n = F_{-n} = \frac{1}{2}a_n = \frac{1}{\pi n}\sin(\frac{n\pi}{2})$$

$$F_n = F_{-n} = \begin{cases} 0, & \text{n为偶数} \\ \frac{1}{\pi n}, & \text{n = 4k+1,k为自然数} \\ -\frac{1}{\pi n}, & \text{n = 4k+3,k为自然数} \end{cases}$$

$$\text{综上，} f(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}e^{j\pi t} + \frac{1}{\pi}e^{-j\pi t} - \frac{1}{3\pi}e^{j3\pi t} - \frac{1}{3\pi}e^{-j3\pi t} + \frac{1}{5\pi}e^{j5\pi t} + \frac{1}{5\pi}e^{-j5\pi t} - \ldots$$

$$\text{即：} f(t) = \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} sin(\frac{n\pi}{2})\frac{e^{jn\pi t} + e^{-jn\pi t}}{n\pi}$$

（4）利用 MATLAB 画出其指数傅里叶级数展开表达式中的前 3 项之和(即 $n = -1, 0, 1$)，并画出其前 7项之和(即$n = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$)，画出其前 21 项之和(即$n = -10, -9, \cdots, 0, 1, 2, \cdots, 10$), 观察它们近似原信号的程度。

- 源代码

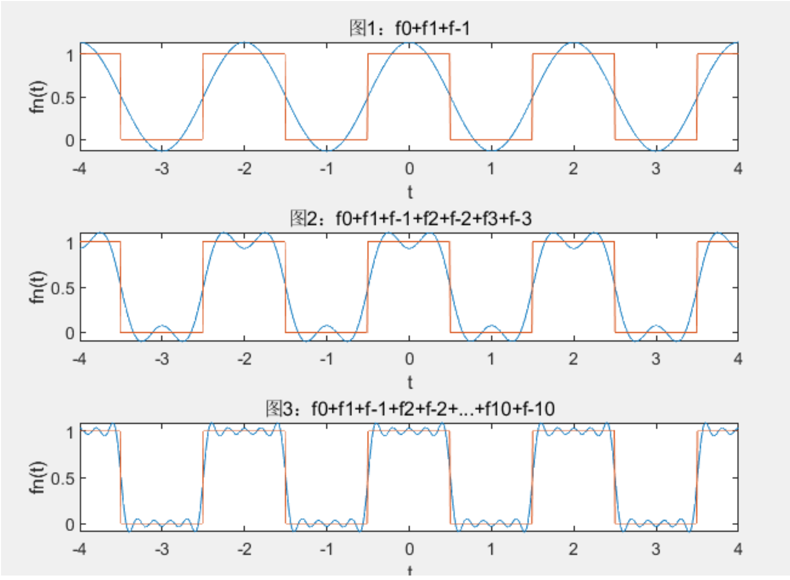
```
t = -4:0.01:4;
F_0 = 1/2
%a_n = 2/(pi*k)
%% 创建矩形脉冲信号
rect_pulse = 0.5 + 0.5*square(pi*(t+0.5));
%% 前 3 项之和
n = 1;
f_n = F_0;
for k = 1:n
    if mod(k,2) == 1
```

```
        f_n = f_n + 1/(pi*(2*k-1)) * (exp(1i*(2*k-1)*pi*t)+exp(-1i*(2*k-
1)*pi*t));
    else
        f_n = f_n -1/(pi*(2*k-1)) * (exp(1i*(2*k-1)*pi*t)+exp(-1i*(2*k-
1)*pi*t));
    end
end
subplot(3,1,1);
plot(t,f_n,t,rect_pulse);
%% 设置xy坐标轴，子图名称
xlabel('t');
ylabel('fn(t)');
title('图1：f0+f1+f-1');

%% 前 7 项之和
n = 2;
f_n = F_0;
for k = 1:n
    if mod(k,2) == 1
        f_n = f_n + 1/(pi*(2*k-1)) * (exp(1i*(2*k-1)*pi*t)+exp(-1i*(2*k-
1)*pi*t));
    else
        f_n = f_n -1/(pi*(2*k-1)) * (exp(1i*(2*k-1)*pi*t)+exp(-1i*(2*k-
1)*pi*t));
    end
end
subplot(3,1,2);
plot(t,f_n,t,rect_pulse);
%% 设置xy坐标轴，子图名称
xlabel('t');
ylabel('fn(t)');
title('图2：f0+f1+f-1+f2+f-2+f3+f-3');

%% 前 20 项之和
n = 5;
f_n = F_0;
for k = 1:n
    if mod(k,2) == 1
        f_n = f_n + 1/(pi*(2*k-1)) * (exp(1i*(2*k-1)*pi*t)+exp(-1i*(2*k-
1)*pi*t));
    else
        f_n = f_n -1/(pi*(2*k-1)) * (exp(1i*(2*k-1)*pi*t)+exp(-1i*(2*k-
1)*pi*t));
    end
end
subplot(3,1,3);
plot(t,f_n,t,rect_pulse);
%% 设置xy坐标轴，子图名称
xlabel('t');
ylabel('fn(t)');
title('图3：f0+f1+f-1+f2+f-2+...+f10+f-10');
```

- 结果图



- 结论：观察可知，傅里叶级数项数越多，与原信号拟合越接近。

2、实验 2：非周期信号的 FT 实验

（1）利用符号求解方法，求$e^{-t}\varepsilon(t)$的傅里叶变换，并绘制其频谱（幅度谱和相位谱）

- 源代码
  - 利用符号求解，求$e^{-t}\varepsilon(t)$的傅里叶变换

```
%% 符号求解傅里叶变换
syms t w
f = exp(-t).*heaviside(t);
F = fourier(f,t,w);
```

  - 绘制频谱

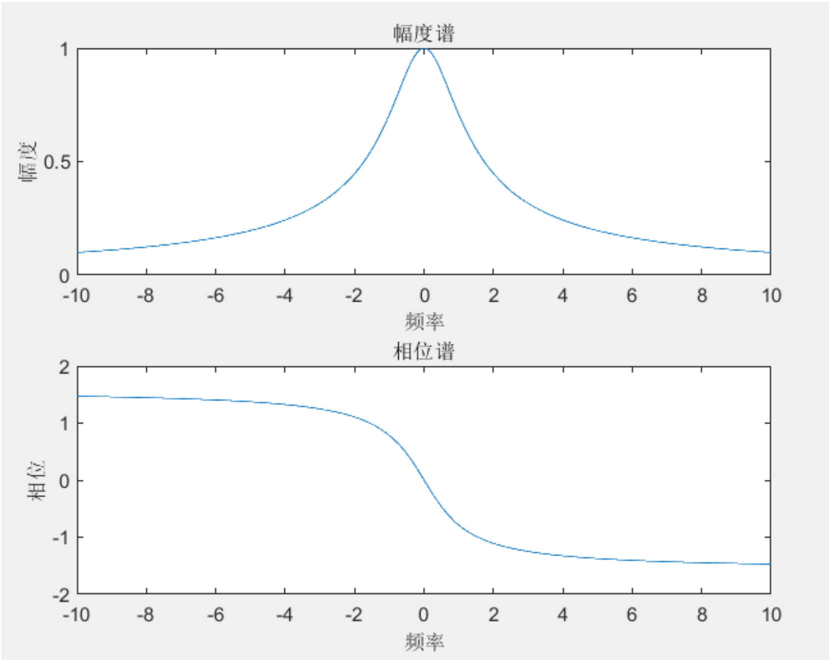
```
w=linspace(-10,10,1000);
H=1./(1j*w+1);
%% 绘制幅度图
subplot(2,1,1);
plot(w,abs(H));
xlabel('频率');
ylabel('幅度');
title('幅度谱');
%% 绘制相位图
subplot(2,1,2);
plot(w,angle(H));
xlabel('频率');
ylabel('相位');
title('相位谱')
```

- 结果图

```
>> syms t w
f = exp(-t).*heaviside(t);
F = fourier(f,t,w);
>> F


F =


1/(1 + w*1i)
```



（2）用数值计算的方法，求$e^{-t}\varepsilon(t)$的傅里叶变换，并绘制其频谱（幅度谱和相位谱）。就幅度谱，将数值解与理论值进行对比，观察误差，思考提升数值计算精度的方法。

- 数值计算方法原理

<u>**数值计算方法**</u>：为实现计算机编程，需对$f(t)$进行抽样。假设在非周期信号$f(t)$的主要取值区间$[t_1,t_2]$内抽样了N个点，则抽样间隔$T_s=\frac{t_2-t_1}{N}$。此时，

$$F(j\omega)\approx T_s\sum_{n=0}^{N-1}f(t_1+nT_s)e^{-j\omega(t_1+nT_s)}$$

<u>**用上式可以计算出任意频点的傅里叶变换值。注意给定一个时间范围，对其离散化；另外，根据理论分析确定一个w的取值范围，对其离散化，才能对上式进行求和运算。**</u>

查阅资料知，用数值方法求$e^{-t}\varepsilon(t)$的计算公式为：

$$
\begin{aligned}
F(j\omega) &= T\sum_{N}^{k=-N}f(kT)e^{-jk\omega T}\\
&=[f(t_1),f(t_2),f(t_3),\ldots,f(t_{2N+1})]\cdot[e^{-j\omega t_1},e^{-j\omega t_2},\ldots,e^{-j\omega t_{2N+1}}]\\
&=f(t)*e^{-j*t'*w}*T
\end{aligned}
$$

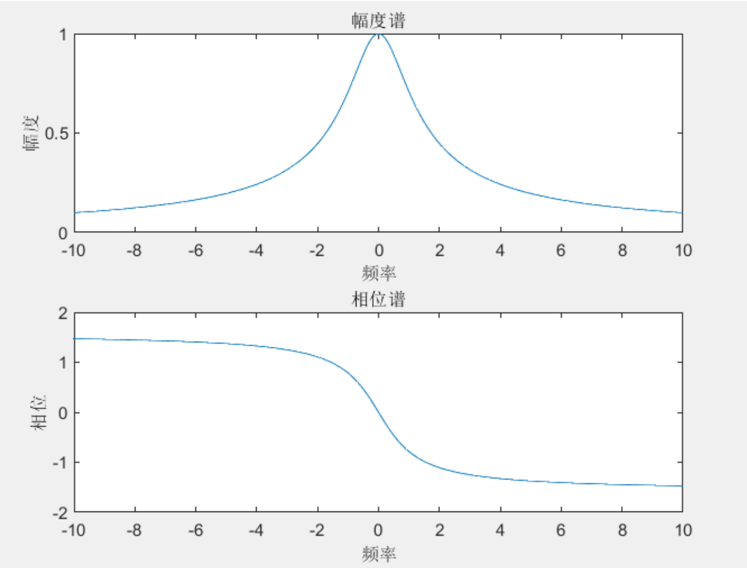
- 源代码

```
%% 数值计算方法求单边指数函数的傅里叶变换
t = -10:0.01:10;
w = -4*pi:0.1:4*pi;
F = (exp(-t) .* heaviside(t)) * exp(-1i * t' * w ) * 0.01;%傅里叶变换值
```

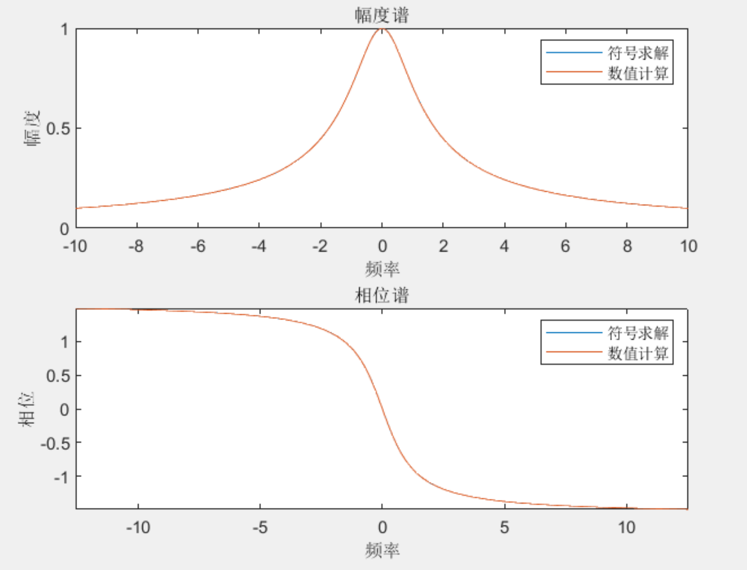
```matlab
A = abs(F);%幅度
%% 绘制幅度谱
subplot(2,1,1);
plot(w,A);
axis([-10,10,0,1])
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('幅度谱');
%% 绘制相位谱
Z = angle(F);%相位
subplot(2,1,2);
plot(w,Z);
axis([-10,10,-2,2])
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('相位谱');

%% 对比符号求解和数值计算的频谱
W=linspace(-10,10,1000);
H=1./(1j*W+1);
%% 幅度谱对比
subplot(2,1,1);
plot(W,abs(H),w,A);
axis([-10,10,0,1])
xlabel('频率');
ylabel('幅度');
legend('符号求解','数值计算')
title('幅度谱')
%% 相位谱对比
subplot(2,1,2);
plot(W,angle(H),w,Z);
ylim([-2 2]);
axis([-10,10,0,1])
xlabel('频率');
ylabel('相位');
legend('符号求解','数值计算')
title('相位谱')
```

- 结果图
  - 数值计算结果



- 符号求解与数值计算对比



> 分析：由图可知，数值解与符号解近似。
>
> 提升数值计算精度的方法有：
>
> - 缩小采样间隔
> - 零填充
> - 使用高精度的数值计算库等等

(3）利用符号求解方法，求$\frac{1}{1+\omega^2}$的傅里叶反变换，并绘制其波形图。

- 源代码
  - 利用符号求解，求$e^{-t}\varepsilon(t)$的傅里叶变换

```
%% 符号求解傅里叶反变换
syms t w;
f = 1./(w^2+1);
F=ifourier(f,t,w);
```

  - 绘制频谱

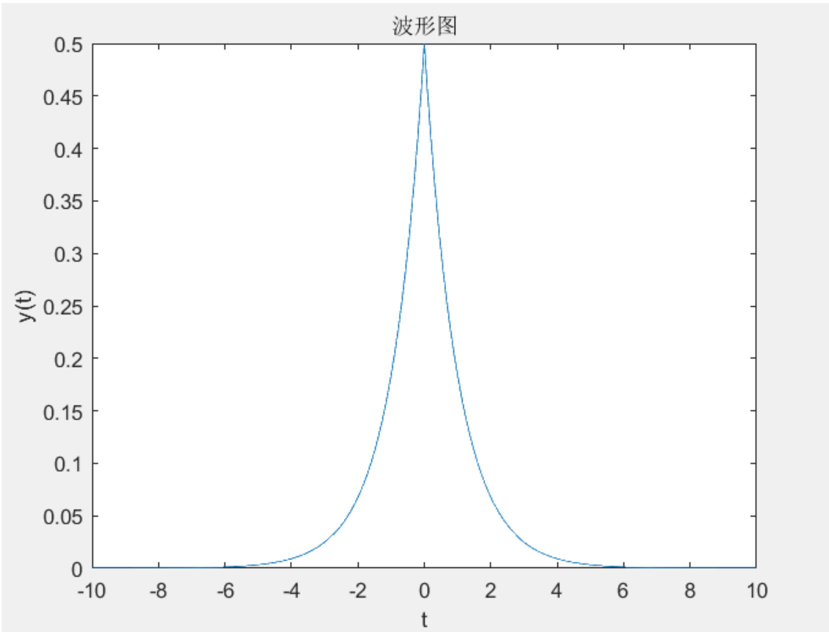
```
%% 绘制波形图
t=-10:0.01:10;
f=exp(-abs(t))/2;
plot(t,f);
xlabel('t');
ylabel('y(t)');
title('波形图');
```

- 结果图

```
>> syms t w;
f = 1./(w^2+1);
F=ifourier(f,t,w);
>> F

F =

dirac(w)/(w^2 + 1)
```



3、实验 3：傅里叶变换性质验证实验

（1）***奇偶特性*** 分别画出$G_4(t)$、$\Lambda_4(t)$、$e^{-t}\epsilon(t)$、$e^{-t}\epsilon(t)-e^{t}\epsilon(-t)$的时域波形图及其幅度谱和相位谱。结合图像，给出奇偶特性相关结论。

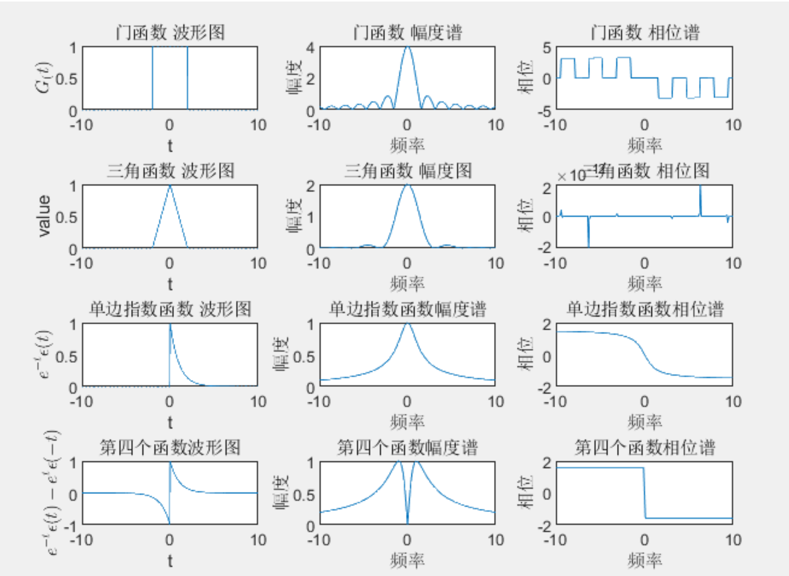
- 源代码：

```
%% 1、门函数
t = -10:0.01:10 %时域范围
w = -10:0.1:10; %频域范围
G=rectpuls(t,4); %G = heaviside(t+2)-heaviside(t-2) （这个表达式求出来的幅度谱有问题）
Gf = G*exp(-1i*t'.*w)*0.01 %用数值方法求傅里叶变换
subplot(4,3,1)
```

```
plot(t,G)
xlabel('t')
ylabel('$G_(t)$', 'Interpreter', 'latex')
title('门函数 波形图');
subplot(4,3,2)
plot(w,abs(Gf))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('门函数 幅度谱');
subplot(4,3,3)
plot(w,angle(Gf))
ylim([-5 5]);
xlabel('频率')
ylabel('相位');
title('门函数 相位谱');
%% 2、三角函数
t1 = -10:0.01:10
w1 =-10:0.1:10;
S = tripuls(t,4)
Sf = S*exp(-1i*t1'*w1)*0.01 %用数值方法求傅里叶变换
subplot(4,3,4)
plot(t1,S)
xlabel('t')
ylabel('value')
title('三角函数 波形图');
subplot(4,3,5)
plot(w1,abs(Sf))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('三角函数 幅度图');
subplot(4,3,6)
plot(w1,angle(Sf))
ylim([-1,1])
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('三角函数 相位图');
%% 单边指数函数
t2 = -10:0.01:10
w2 = -10:0.1:10;
X = exp(-t2).*heaviside(t2)
Xf = X*exp(-1i*t2'*w2)*0.01 %用数值方法求傅里叶变换
subplot(4,3,7)
plot(t2,X)
xlabel('t')
ylabel('$e^{-t}\epsilon(t)$', 'Interpreter', 'latex')
title('单边指数函数 波形图')
subplot(4,3,8)
plot(w2,abs(Xf))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('单边指数函数幅度谱')
subplot(4,3,9)
plot(w2,angle(Xf))
xlabel('频率')
ylabel('相位')
```

```
title('单边指数函数相位谱')
%% 第四个函数
t3 = -0:0.01:10
w3 = -10:0.1:10;
Y = exp(-t3).*heaviside(t3)-exp(t3).*heaviside(-t3)
Yf = Y*exp(-1i*t3'*w3)*0.01 %用数值方法求傅里叶变换
subplot(4,3,10)
plot(t3,Y)
xlabel('t')
ylabel('$e^{-t}\epsilon(t)-e^{t}\epsilon(-t)$', 'Interpreter', 'latex')
title('第四个函数波形图')
subplot(4,3,11)
plot(w3,abs(Yf))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('第四个函数幅度谱')
subplot(4,3,12)
plot(w3,angle(Yf))
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('第四个函数相位谱')
```

- 结果图:



- 结论:

> **偶信号的频谱是偶函数，奇信号的频谱是奇函数**

(2) ***展缩特性*** **假设$x(t) = G_4(t)$，分别画出$x(t)$、$x(\frac{t}{2})$、$x(2t)$的时域波形图及其幅度谱和相位谱。结合图像，给出展缩特性相关结论。**

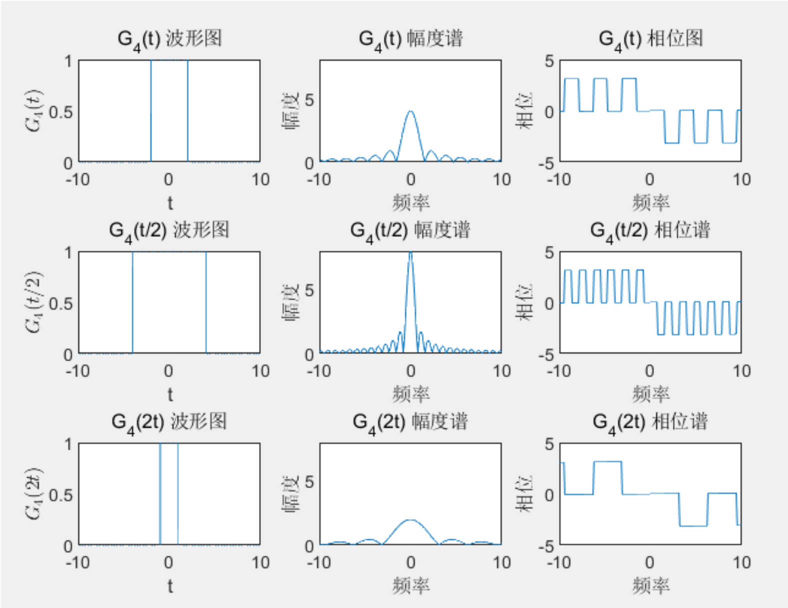
- 源代码:

```
%% 绘制G_4(t) 波形、幅度、相位图
t = -10:0.01:10 %时域范围
w = -10:0.1:10; %频域范围;
G = rectpuls(t,4); %定义G_4
Gf = G*exp(-1i*t'*w)*0.01 %用数值方法求傅里叶变换
subplot(3,3,1)
plot(t,G)
```

```
xlabel('t')
ylabel('$G_4(t)$', 'Interpreter', 'latex')
title('G_4(t) 波形图')
subplot(3,3,2)
plot(w,abs(Gf))
ylim([0 8]) % 三个函数的幅度最大是8，直观起见，幅度范围都设置为[0 8]
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('G_4(t) 幅度谱')
subplot(3,3,3)
plot(w,angle(Gf))
ylim([-5 5]) % 相位范围都设置为[-5 5]
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('G_4(t) 相位图')
%% 绘制G_4(t/2) 波形、幅度、相位图
t1 = -10:0.01:10 %时域范围
w1 = -10:0.1:10; %频域范围
G1 = rectpuls(t1/2,4)
Gf1 = G1*exp(-1i*t1'*w1)*0.01
subplot(3,3,4)
plot(t1,G1)
xlabel('t')
ylabel('$G_4(t/2)$', 'Interpreter', 'latex')
title('G_4(t/2) 波形图')
subplot(3,3,5)
plot(w1,abs(Gf1))
ylim([0 8])
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('G_4(t/2) 幅度谱')
subplot(3,3,6)
plot(w1,angle(Gf1))
ylim([-5 5])
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('G_4(t/2) 相位谱')
%% 绘制G_4(2t) 波形、幅度、相位图
t2=-10:0.01:10;%时域范围
w2 =-10:0.1:10;%频域范围
G2=rectpuls(t2*2,4);
Gf2=G2*exp(-1i*t2'*w2)*0.01
subplot(3,3,7)
plot(t2,G2)
xlabel('t')
ylabel('$G_4(2t)$', 'Interpreter', 'latex')
title('G_4(2t) 波形图')
subplot(3,3,8)
plot(w2,abs(Gf2))
ylim([0 8])
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('G_4(2t) 幅度谱')
subplot(3,3,9)
plot(w2,angle(Gf2))
```

```
ylim([-5 5])
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('G_4(2t) 相位谱')
```

- 结果图:



> $G_4(t/2)$幅度谱$G_4(t)$的两倍，频谱的**频带宽度**变为为原来的 1/2 倍
>
> $G_4(2t)$幅度谱$G_4(t)$的一半，频谱的**频带宽度**变为为原来的 2 倍

- 结论:

> 信号在时域中的时间函数**压缩 k 倍**,(t→kt)
>
> 则在频域中频谱的**幅度变为1/k 倍**,
>
> 而频谱的**频带宽度变为 k 倍**
>
> **即**$kf(t) \leftrightarrow \frac{1}{|k|}F(\frac{j\omega}{k})$

(3) *时移特性* 假设$x(t) = \Lambda_4(t)$ （三角函数，偶对称，其在 0 点处幅度为 1，持续时间为 4），分别画出$x(t)$、$x(t-0.1)$、$x(t-1)$的时域波形图及其幅度谱和相位谱。结合图像，给出时移特性相关结论。

- 源代码:

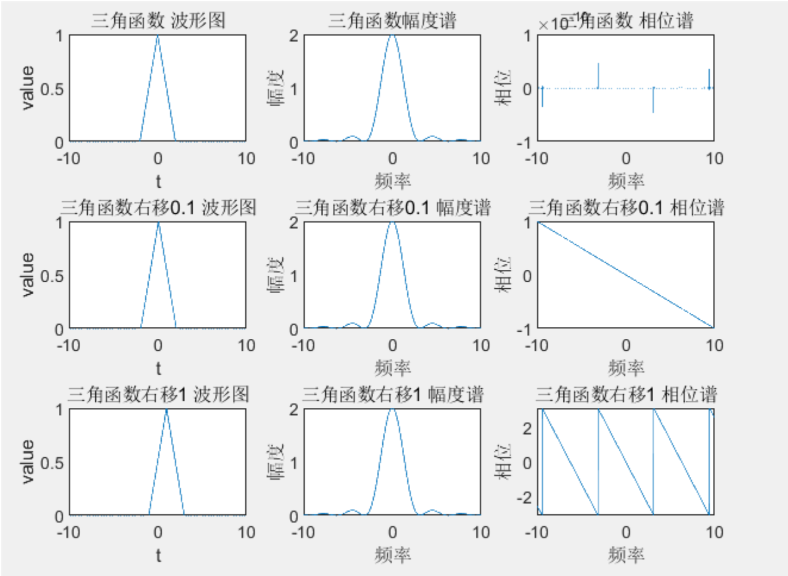
```
%% 绘制Λ_4(t) 波形、幅度、相位图
t1= -10:0.01:10 %时域范围
w1 = -10:0.01:10;%频域范围
S =( t1+2).*(heaviside(t1+2)-heaviside(t1)).*0.5+(-t1+2).*(heaviside(t1)-
heaviside(t1-2)).*0.5 %定义函数
Sf = S*exp(-1i*t1'*w1)*0.01 %数值方法计算傅里叶变换
subplot(3,3,1)
plot(t1,S)
xlabel('t')
ylabel('value')
title('三角函数 波形图')
subplot(3,3,2)
plot(w1,abs(Sf))
```

```
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('三角函数幅度谱')
subplot(3,3,3)
plot(w1,angle(Sf))
ylim([-1,1])
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('三角函数 相位谱')

%% 绘制Λ_4(t-0.1) 波形、幅度、相位图
t2 = -10:0.01:10 %时域范围
w2 = -10:0.01:10; %频域范围
S2 = (t2+2-0.1).*(heaviside(t2-0.1+2)-heaviside(t2-0.1)).*0.5+(-t2+2+0.1).*
(heaviside(t2-0.1)-heaviside(t2-2-0.1)).*0.5 %定义函数
Sf2 = S2*exp(-1i*t2'*w2)*0.01 %数值方法计算傅里叶变换
subplot(3,3,4)
plot(t2,S2)
xlabel('t')
ylabel('value')
title('三角函数右移0.1 波形图')
subplot(3,3,5)
plot(w2,abs(Sf2))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('三角函数右移0.1 幅度谱')
subplot(3,3,6)
plot(w2,angle(Sf2))
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('三角函数右移0.1 相位谱')

%% 绘制Λ_4(t-1) 波形、幅度、相位图
t3=-10:0.01:10  %时域范围
w3 =-10:0.01:10; %频域范围
S3=(t3-1+2).*(heaviside(t3-1+2)-heaviside(t3-1)).*0.5+(-t3+1+2).*
(heaviside(t3-1)-heaviside(t3-1-2)).*0.5 %定义函数
Sf3=S3*exp(-1i*t3'*w3)*0.01 %数值方法计算傅里叶变换
subplot(3,3,7)
plot(t3,S3)
xlabel('t')
ylabel('value')
title('三角函数右移1 波形图')
subplot(3,3,8)
plot(w3,abs(Sf3))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('三角函数右移1 幅度谱')
subplot(3,3,9)
plot(w3,angle(Sf3))
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('三角函数右移1 相位谱')
```

- 结果图:



- 结论：

> **时域上提前或者滞后时间t_0，则在频域表现为增加或减少一个线性相位wt_0**
>
> **即$f(t+t_0) \leftrightarrow F(j\omega)e^{jwt_0}$**

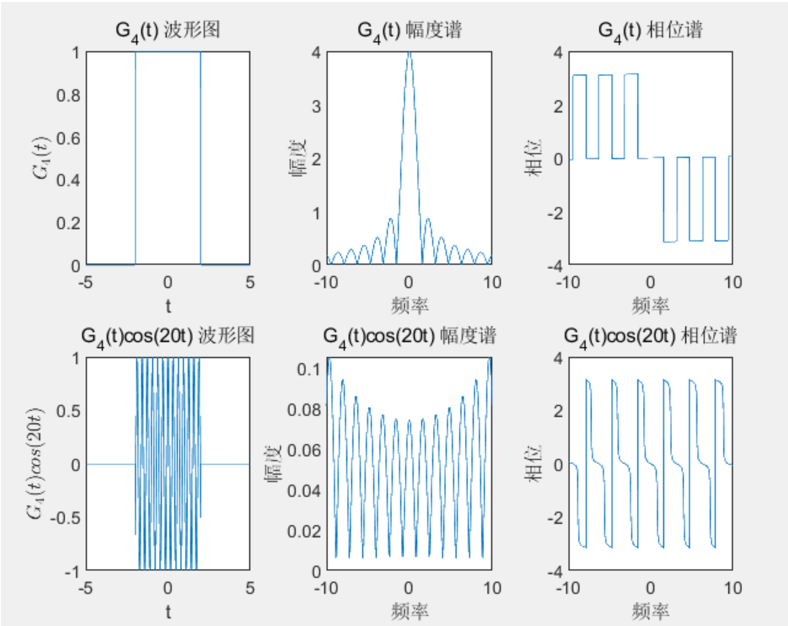
(4) *频移特性* 假设$x(t)=G_4(t)$，分别画出$x(t)$、$x(t)\cos(20t)$的时域波形图及其频谱图。结合图像，给出频移特性相关结论。

- 源代码：

```
%% 绘制G_4(t) 波形、幅度、相位图
t = -10:0.01:10%时域范围
w = -30:0.1:30;%频域范围
G = rectpuls(t,4); %定义函数
Gf = G*exp(-1i*t'*w)*0.01 %数值方法计算傅里叶变换
subplot(2,3,1)
plot(t,G)
xlabel('t')
ylabel('$G_4(t)$', 'Interpreter', 'latex')
title('G_4(t) 波形图')
subplot(2,3,2)
plot(w,abs(Gf))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('G_4(t) 幅度谱')
subplot(2,3,3)
plot(w,angle(Gf))
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('G_4(t) 相位谱')
%% 绘制G_4(t)cos(20t) 波形、幅度、相位图
t1 = -10:0.01:10 %时域范围
w1 = -30:0.1:30; %频域范围
G1 = rectpuls(t,4).*cos(20*t1) %定义函数
Gf1 = G1*exp(-1i*t1'*w1)*0.01 %数值方法计算傅里叶变换
subplot(2,3,4)
plot(t1,G1)
xlabel('t')
ylabel('$G_4(t)cos(20t)$', 'Interpreter', 'latex')
```

```
title('G_4(t)cos(20t) 波形图')
subplot(2,3,5)
plot(w1,abs(Gf1))
xlabel('频率')
ylabel('幅度')
title('G_4(t)cos(20t) 幅度谱')
subplot(2,3,6)
plot(w1,angle(Gf1))
xlabel('频率')
ylabel('相位')
title('G_4(t)cos(20t) 相位谱')
```

- 结果图：



- 结论：

> **一个信号乘上$cos(\omega t)$，频域上会将频谱向左和向右搬移ω的距离。**

五、实验体会和感悟

本次实验中遇到很多不熟悉的地方。比如实验中遇到一个比较疑惑的问题，在画某个函数的幅度谱和相位谱时，用 heaviside(t) 和 stepfun(t, 0) 表示阶跃函数得到的最终结果是不一样的。但是heaviside(t) 和 stepfun(t, 0) 表示的应该是同一个阶跃函数，不知道结果为何不同。最终在助教的帮助下使用了正确的计算方法，问题解决。

通过本次实验提升了matlab编程的能力，对傅里叶变换公式有了更深刻的理解，对傅里叶变换的那些特性，有了更加直接认识。