

- 实验报告：基于贝塞尔函数的采样时间抖动仿真分析
 - 一、实验目的
 - 二、实验原理
 - 2.1 数学模型
 - 三、实验流程
 - 3.1 软件参数设置
 - 3.2 信号生成
 - 4.2 理论建模模块
 - 4.3 分析验证模块

实验报告：基于贝塞尔函数的采样时间抖动仿真分析

一、实验目的

- 验证周期性采样时间抖动对高频信号频谱的影响规律
- 通过贝塞尔函数展开理论预测相位调制边带特性
- 建立时域仿真与理论模型的误差量化分析方法
- 探索高频信号抖动分析的工程化实现路径

二、实验原理

2.1 数学模型

抖动调制信号：

$$s(t) = A \cdot \cos[2\pi f_0(t + \Delta t \cdot \cos(2\pi f_t t))]$$

贝塞尔展开式：

$$s(t) = A \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^n J_n(\beta) \cdot \cos[2\pi(f_0 + kf_t)t]$$

调制指数:

$$\beta = 2\pi f_0 \Delta t$$

三、实验流程

3.1 软件参数设置

```
% 参数设置
fs = 2e9; % 采样频率 (Hz)
t = 0:1/fs:1e-3-1/fs; % 时间向量 (1秒)
f0 = 1.5e9; % 载波频率 (Hz)
f_tau = 1e6; % 抖动频率 (Hz)
delta = 1e-9; % 抖动幅度
beta = 2*pi*f_tau*delta; % 调制指数
phi = 0; % 初始相位
```

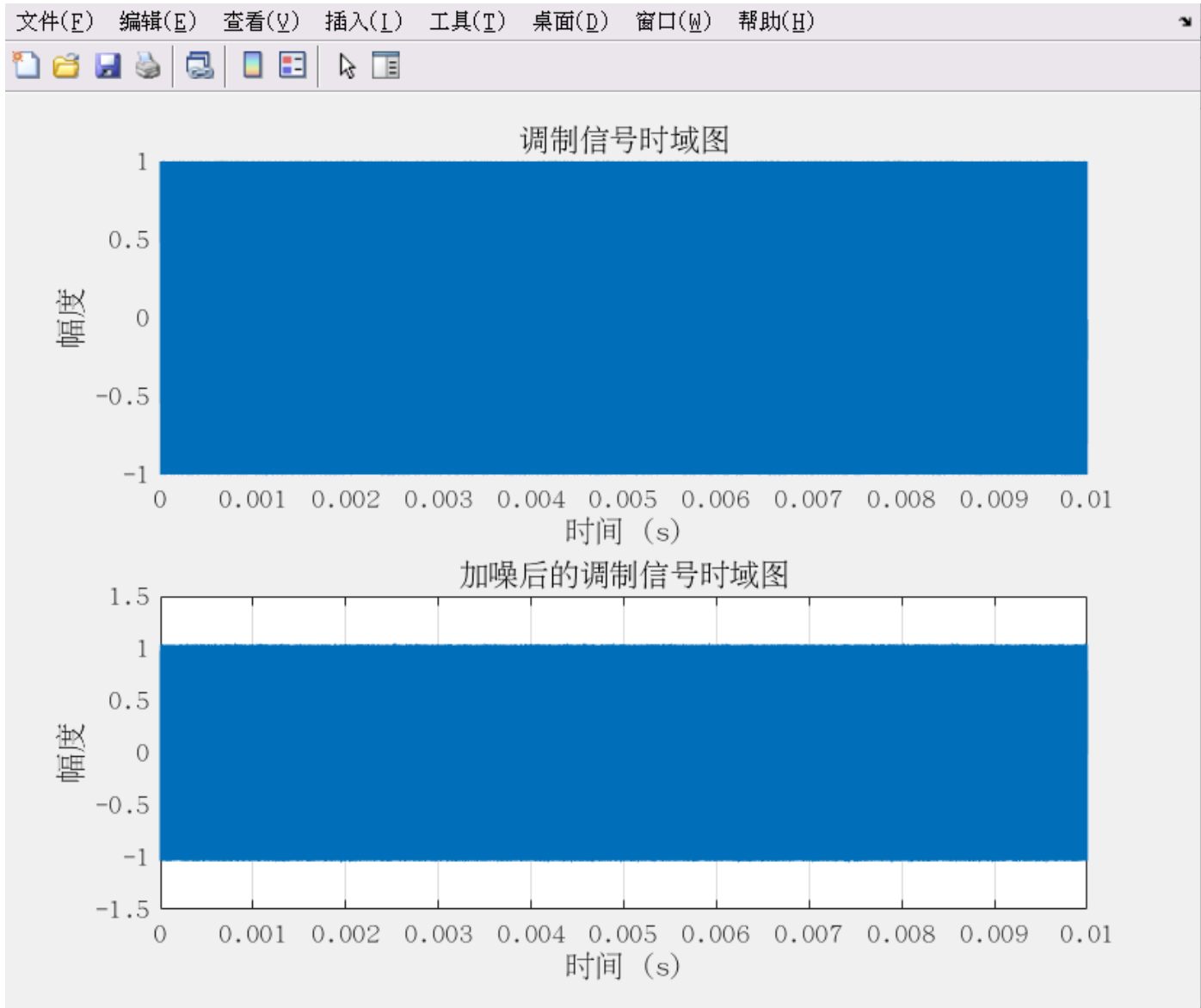
3.2 信号生成

1. 生成调制信号

```
% 生成调制信号
tau = delta * cos(2*pi*f_tau*t + phi); % 时间抖动
phase_noise = 1e-6*randn(size(t)); % 相位噪声
phase_error = 2*pi*f_tau*tau + phase_noise; % 相位误差
s_mod = cos(2*pi*f0*t + phase_error); % 调制信号
```

2. 加入噪声

```
% 加入噪声
noise = 1e-2*randn(size(t)); % 噪声
s_noisy = s_mod + noise; % 加噪信号
```



4.2 理论建模模块

1. 贝塞尔系数计算

```
Jk = besselj(abs(k), beta);  
Jk(k<0) = (-1).^abs(k(k<0)).*Jk(k<0);
```

2. 理论信号重构

```
s_theory = zeros(1,N);  
for n = 1:length(k)  
    s_theory = s_theory + Jk(n)*cos(2*pi*(f0+k(n)*ft)*t);  
end
```

4.3 分析验证模块

1. 频域分析

```
S_mod = fftshift(abs(fft(s_mod)/N));
```

2. 能量验证

```
theory_power = sum(Jk.^2)/2;  
actual_power = sum(s_mod.^2)/N;
```

3. 误差量化

```
error = abs(S_mod - abs(A*Jk));
```

