

实验三: IIR数字滤波器设计及软件实现

1. 实验目的

(1) 熟悉用脉冲响应不变法, 双线性变换法设计IIR数字滤波器的原理与方法;

(2) 学会调用信号处理工具箱中滤波器设计函数设计各种IIR数字滤波器, 学会根据滤波需求确定滤波器指标参数。

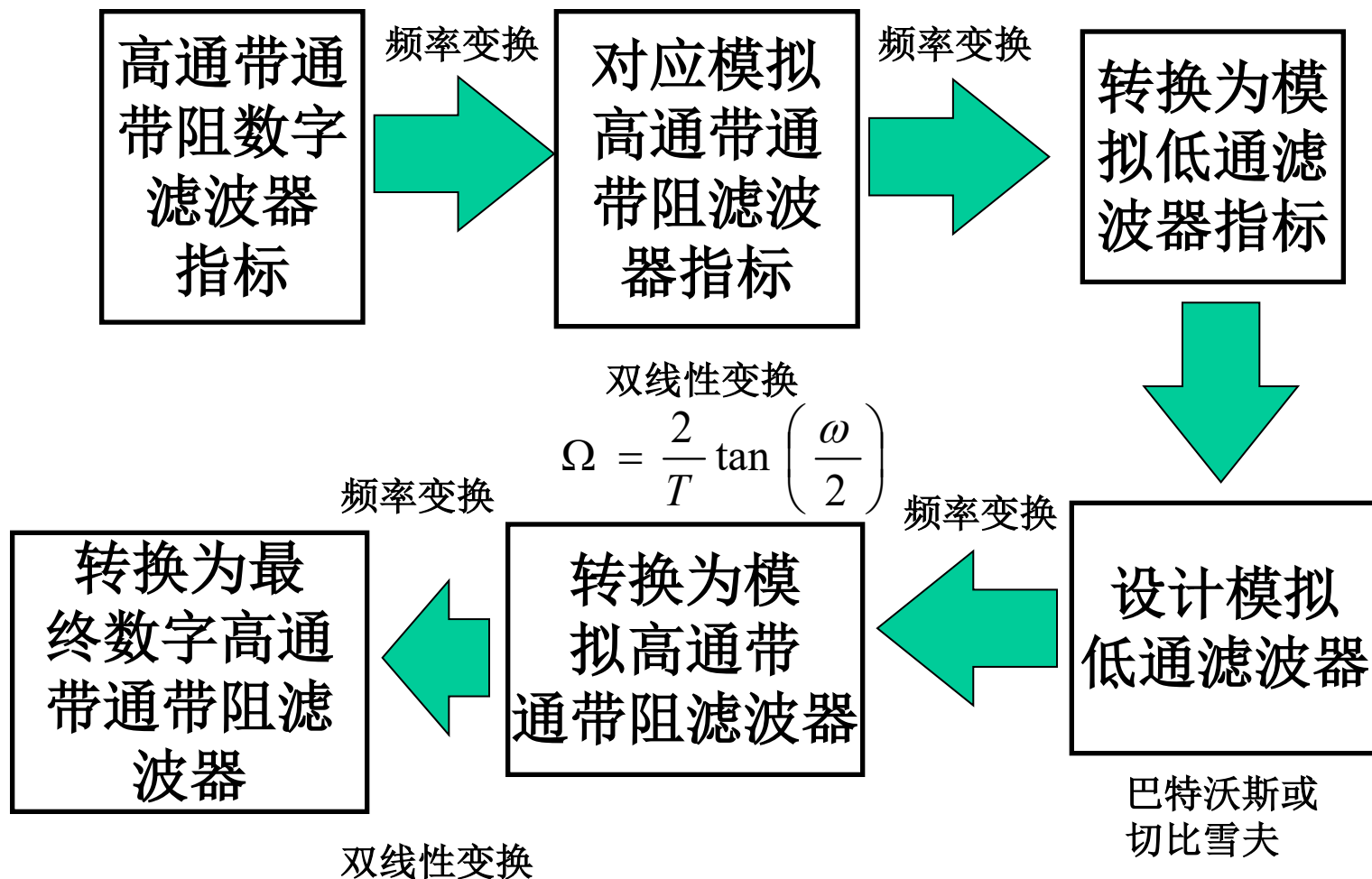
(3) 掌握IIR数字滤波器的实现方法。

(4) 通过观察滤波器输入、输出信号的时域波形及其频谱, 建立数字滤波的概念。

2. 实验原理

- 设计IIR数字滤波器一般采用间接法（脉冲响应不变法和双线性变换法），应用最广泛的是双线性变换法（可设计低通、高通、带通、带阻滤波器）。
- IIR数字低通滤波器基本设计过程：
 - ① 将给定的数字滤波器的指标转换成过渡模拟滤波器的指标；
 - ② 设计过渡模拟滤波器（巴特沃斯或切比雪夫函数滤波器）；
 - ③ 将过渡模拟滤波器系统函数转换成数字滤波器的系统函数（查表，去归一化）。

- IIR数字高通、带通、带阻滤波器基本设计过程



- 信号处理工具箱中的各种IIR数字滤波器设计函数都是采用双线性变换法。本实验要求学生调用巴特沃斯和切比雪夫1型函数直接设计IIR数字滤波器
- 数字滤波器的mworks实现是指调用信号处理工具箱函数 `filter`对给定的输入信号 $x(n)$ 进行滤波，得到滤波后的输出信号 $y(n)$ 。

3. 实验内容及步骤

(1) 产生由三路抑制载波调幅信号相加构成的复合信号

$$s(t)=y_1(t)+y_2(t)+y_3(t)$$

$s(t)$ 的时域波形和幅频特性曲线，如图1所示。由图可见，三路信号时域混叠无法在时域分离。但频域是分离的，所以可以通过滤波器的方法在频域分离，这就是本实验的目的。

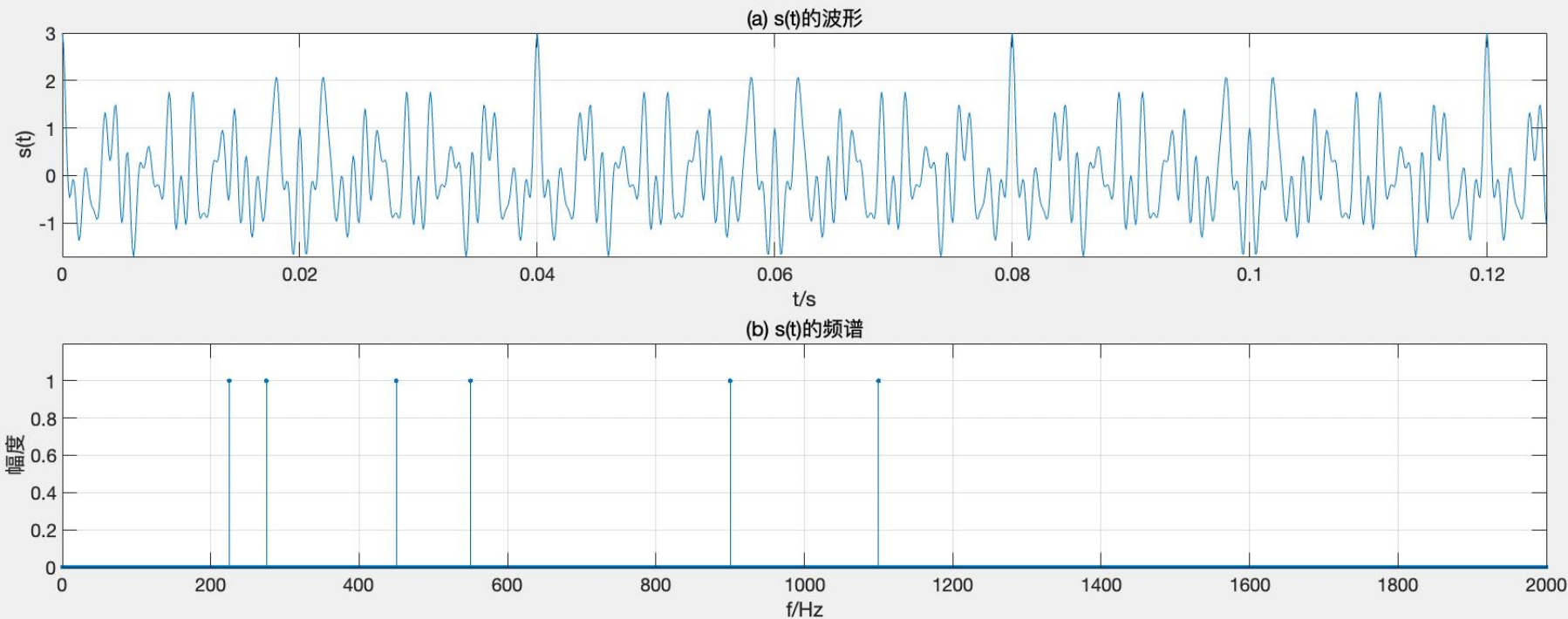


图1 三路调幅信号 $s(t)$ 的时域波形和幅频特性曲线

(2) 要求将 $s(t)$ 中三路调幅信号分离，通过观察 $s(t)$ 的幅频特性曲线，分别确定可以分离 $s(t)$ 中三路抑制载波单频调幅信号的三个滤波器（低通滤波器、带通滤波器、高通滤波器）的通带截止频率和阻带截止频率。

要求滤波器的通带最大衰减为0.1 dB, 阻带最小衰减为60 dB。

- 抑制载波单频调幅信号数学表达式

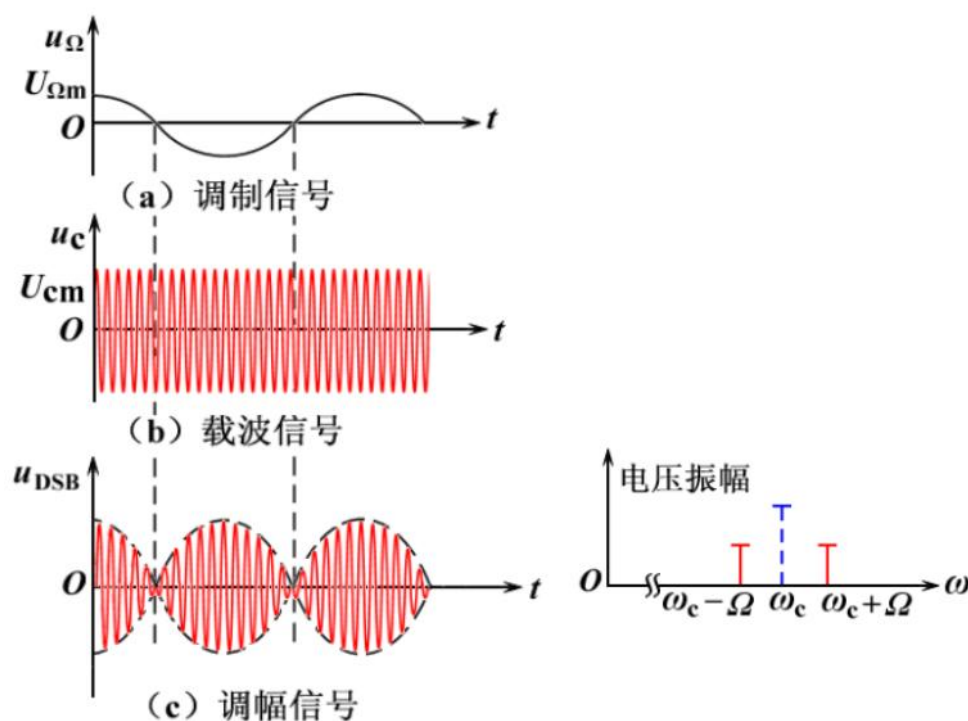
$$\begin{aligned}s(t) &= \cos(2\pi f_0 t) \cos(2\pi f_c t) \\ &= \frac{1}{2} [\cos(2\pi(f_c - f_0)t) + \cos(2\pi(f_c + f_0)t)]\end{aligned}$$

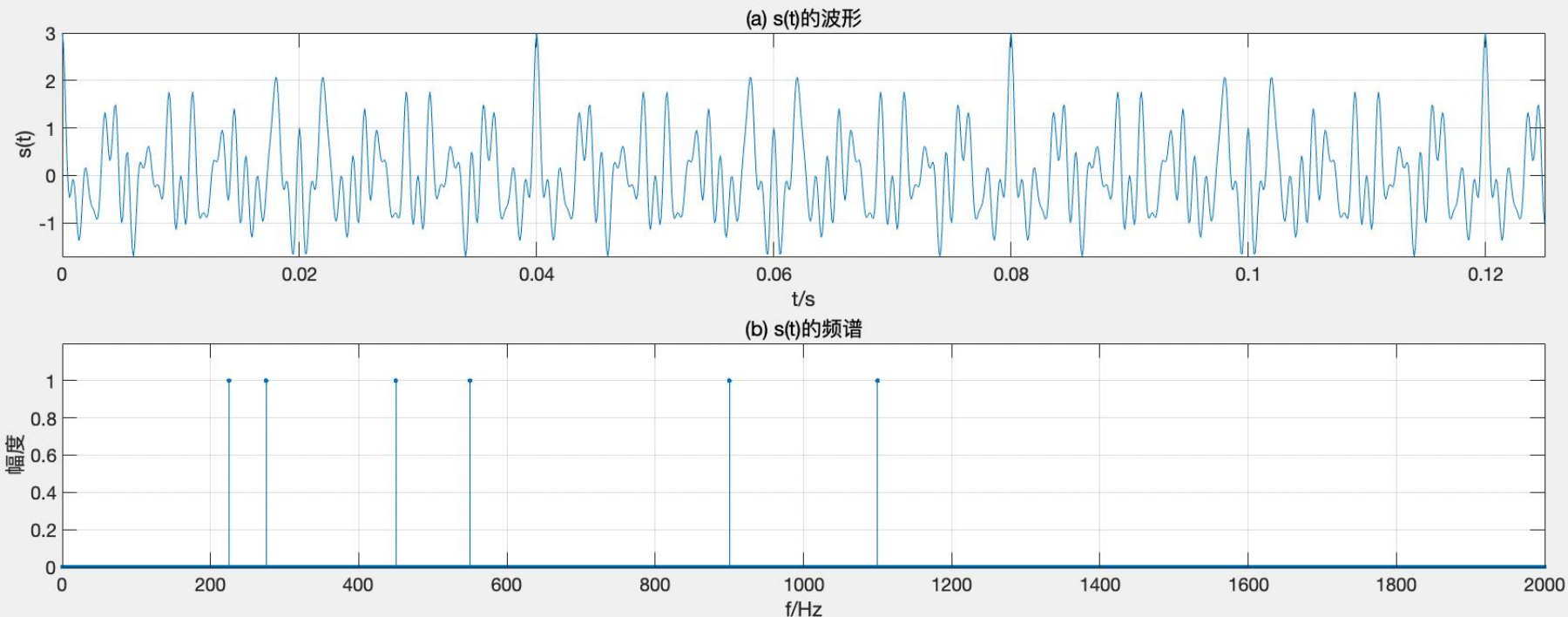
$\cos(2\pi f_c t)$ -载波 f_c -载波频率

$\cos(2\pi f_0 t)$ -单频调制信号，

f_0 -调制正弦波信号频率，且满足 $f_c > f_0$ 。

由上式可见，所谓抑制载波单频调幅信号，就是两个正弦信号相乘，它有2个频率成分：和频 f_c+f_0 、差频 f_c-f_0 ，这两个频率成分关于载波频率 f_c 对称。所以，1路抑制载波单频调幅信号的频谱图是关于载波频率 f_c 对称的两根谱线。





容易看出，图1中三路调幅信号的载波频率分别为250 Hz、500 Hz、1000 Hz。有关调幅(AM)和抑制载波调幅(SCAM)的一般原理与概念，请参考通信原理教材。

(3) 编程序调用mworks的两种滤波器设计函数butter, cheby1, 来设计低通、高通和带通滤波器, 并绘图显示其损耗函数曲线。并对两种滤波器函数下设计的滤波器进行性能对比分析。

(4) 调用滤波器实现函数filter, 用三个滤波器分别对信号 $s(t)$ 进行滤波, 分离出 $s(t)$ 中的三路不同载波频率的调幅信号 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 和 $y_3(n)$, 并绘图显示 $y_1(n)$ 、 $y_2(n)$ 和 $y_3(n)$ 的时域波形, 观察分离效果。

实验提示：滤波器参数选取

观察图1可知，三路调幅信号的载波频率分别为250Hz、500Hz、1000Hz。

带宽分别为50Hz、100Hz、200Hz。所以，分离混合信号 s_t 中三路抑制载波单频调幅信号的三个滤波器（低通滤波器、带通滤波器、高通滤波器）的指标参数选取如下：（仅供参考）

对载波频率为250Hz的调幅信号，可以用低通滤波器分离，其指标为
通带截止频率280Hz，通带最大衰减0.1dB；

阻带截止频率450Hz，阻带最小衰减60dB，

对载波频率为500Hz的调幅信号，可以用带通滤波器分离，其指标为
通带截止频率440Hz，560Hz，通带最大衰减0.1dB；

阻带截止频率275Hz，900Hz，阻带最小衰减60dB，

对载波频率为1000Hz的调幅信号，可以用高通滤波器分离，其指标为
通带截止频率890Hz，通带最大衰减0.1dB；

阻带截止频率550Hz，阻带最小衰减60dB

函数使用提示:

巴特沃斯滤波器需要用到的函数: `buttord`, `butter1`

切比雪夫滤波器需要用到的函数: `cheb1ord`, `cheby1`

用`filter`函数来做滤波处理

用`freqz`函数来求滤波器的频率响应, 用于画损耗函数曲线

(横坐标为归一化角频率 w / π , 纵坐标为相对值 $20 \cdot \log_{10}(m / \max(m)) - \text{dB}$)

仔细阅读Help里滤波器函数的用法!

其它说明：

- (1) 为了使滤波器阶数尽可能低，每个滤波器的边界频率选择原则是尽量使滤波器过渡带宽尽可能宽。
- (2) 输入信号的波形和频谱程序会提供。输入信号采样频率 $F_s=10\text{kHz}$ ，采样点数 $N=1600$

```

N=1600    %N为信号st的长度。
Fs=10000;T=1/Fs;Tp=N*T; %采样频率Fs=10kHz, Tp为采样时间
t=0:T:(N-1)*T;k=0:N-1;f=k/Tp;
fc1=Fs/10;          %第1路调幅信号的载波频率fc1=1000Hz,
fm1=fc1/10;    %第1路调幅信号的调制信号频率fm1=100Hz
fc2=Fs/20;          %第2路调幅信号的载波频率fc2=500Hz
fm2=fc2/10;    %第2路调幅信号的调制信号频率fm2=50Hz
fc3=Fs/40;          %第3路调幅信号的载波频率fc3=250Hz,
fm3=fc3/10;    %第3路调幅信号的调制信号频率fm3=25Hz
xt1=cos(2*pi*fm1*t).*cos(2*pi*fc1*t); %产生第1路调幅信号
xt2=cos(2*pi*fm2*t).*cos(2*pi*fc2*t); %产生第2路调幅信号
xt3=cos(2*pi*fm3*t).*cos(2*pi*fc3*t); %产生第3路调幅信号
st=xt1+xt2+xt3;      %三路调幅信号相加
fxt=fft(st,N);        %计算信号st的频谱
%===以下为绘图部分, 绘制st的时域波形和幅频特性曲线
subplot(3,1,1)
plot(t,st);grid;xlabel('t/s');ylabel('s(t)');
axis([0,Tp/8,min(st),max(st)]);title('(a) s(t)的波形')
subplot(3,1,2)
stem(f,abs(fxt)/max(abs(fxt)),'.');grid;title('(b) s(t)的频谱')
axis([0,Fs/5,0,1.2]);
xlabel('f/Hz');ylabel('幅度')

```

4. 思考题

信号产生函数mstg中采样点数 $N=1600$ ，对st进行 N 点FFT可以得到6根理想谱线。如果取 $N=1800$ ，可否得到6根理想谱线？为什么？ $N=2000$ 呢？请改变函数mstg中采样点数 N 的值，观察频谱图验证你的判断是否正确。