

图 3-36 频分多址方式的原理图

当 F 站的用户回答 A 站呼叫时, 通话过程与上述过程类似。要指出的是, 不管 A 站与 F 站有无用户通话, A 站与 F 站的载波  $f_A$  和  $f_F$  都是一直在工作着的。

一颗卫星上装有多转发器, 每个转发器有自己的发送器、接收器以及相应的发送频段、接收频段。一个星载转发器的带宽为 36MHz, 共可传输 400 多路频分多路电话信号或一路广播电视。

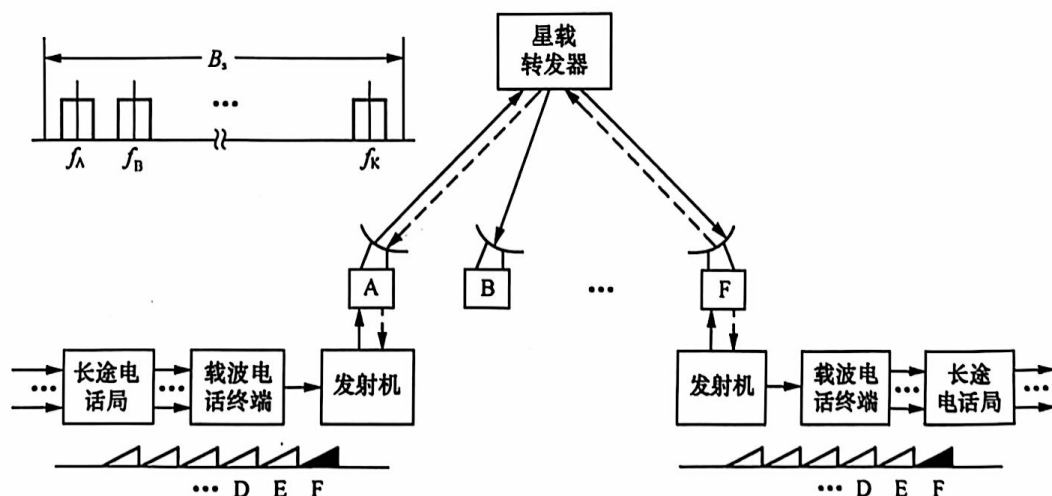


图 3-37 地面站通信示意图

## 3.8 MATLAB/Simulink 模拟通信系统建模与仿真

### 3.8.1 模拟调制解调模块

MATLAB 中提供的模拟调制解调模块如图 3-38 所示, 下面分别介绍各个模块的参数设置方法。

(1) DSB AM 调制: DSB AM 调制模块对输入信号进行双边带幅度调制。输出为通带表示的调制信号。输入和输出信号都是基于采样的实数标量信号。

模块中, 如果输入一个时间函数  $u(t)$ , 则输出为  $[u(t) + k] \cos(2\pi f_c t + \theta)$ 。其中  $k$  为 “Input signal offset” 参数,  $f_c$  为 “Carrier frequency” 参数,  $\theta$  为 “Initial phase” 参数。在通常情况

下,“Carrier frequency”参数项要比输入信号的最高频率高很多。根据 Nyquist 采样理论,模型中采样时间的倒数必须大于“Carrier frequency”参数项的两倍。其他模块类似处理。DSB AM 调制模块中包含下面几个参数项。

Input signal offset: 设定补偿因子  $k$ , 应该大于等于输入信号最小值的绝对值。

Carrier frequency (Hz): 设定载波频率。

Initial phase (rad): 设定载波初始相位。

(2) DSB AM 解调: DSB AM 解调模块使用了低通滤波器, 因此它的参数项比调制模块参数项要多, 有如下几项。

Input signal offset: 设定输入信号偏移。模块中所有解调信号减去这个偏移量, 得到输出数据。

Carrier frequency (Hz): 设定调制信号的载波频率。

Initial phase (rad): 设定发射载波的初始相位。

Lowpass filter design method: 滤波器的产生方法, 包括 Butterworth、Chebyshev type I、Chebyshev type II、Elliptic 等。

Filter order: 设定滤波阶数。

Cutoff frequency (Hz): 设定低通滤波器的截止频率。

Passband ripple(dB): 设定通带起伏, 为通带中的峰-峰起伏。只有当“Lowpass filter design method”选定为 Chebyshev type I 和 Elliptic 滤波器时, 本项有效。

Stopband ripple(dB): 设定阻带起伏, 为阻带中的峰-峰起伏。只有当“Lowpass filter design method”选定为 Chebyshev type II 和 Elliptic 滤波器时, 本项有效。

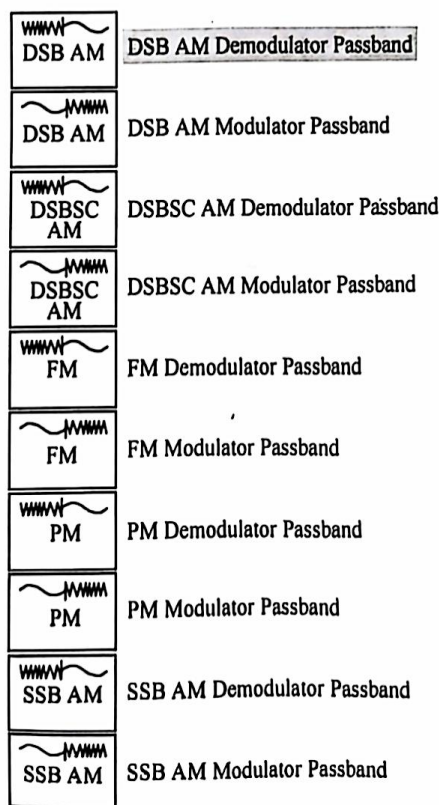


图 3-38 模拟调制解调模块

(3) SSB AM 调制: SSB AM 调制模块使用希尔伯特滤波器进行单边带幅度调制。如果

输入一个时间函数  $u(t)$ , 则输出为  $u(t)\cos(2\pi f_c t + \theta) \mp \hat{u}(t)\sin(2\pi f_c t + \theta)$ 。其参数有如下几项。

Carrier frequency (Hz) 和 Initial phase (rad) 的含义与 DSB AM 调制模块相同。

Sideband to modulate: 传输方式设定项。有 upper 和 lower 两种, 分别为上边带传输和下边带传输。

Hilbert Transform filter order: 设定用于希尔伯特转化的 FIR 滤波器的长度。

(4) SSB AM 解调: 与 DSB AM 解调模块的参数项相同。

(5) DSBSC AM 调制: 见 DSB AM 调制模块中相应两个参数项。

(6) DSBSC AM 解调: 与 DSB AM 解调模块的参数项相同。

(7) FM 调制: 模块中, 如果输入一个时间函数  $u(t)$ , 则输出为  $\cos(2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_0^t u(\tau) d\tau + \theta)$ 。其参数有如下几项。

Carrier frequency (Hz) 和 Initial phase (rad) 的含义与 DSB AM 相同。

Frequency deviation (Hz): 表示载波频率的频率偏移。

(8) FM 解调: 其参数项如下。

Carrier frequency (Hz) 和 Initial phase (rad): 见 DSB AM 调制模块。

Frequency deviation (Hz): 见 FM 调制模块。

Hilbert Transform filter order: 见 SSB AM 调制模块。

(9) PM 调制: 模块中, 如果输入一个时间函数  $u(t)$ , 则输出为  $\cos(2\pi f_c t + K_c u(t) + \theta)$ 。

其参数含义与 FM 调制模块相同。

(10) PM 解调: 与 FM 解调模块的参数项相同。

### 3.8.2 调幅广播系统建模与仿真

对中波调幅广播传输系统进行仿真, 模型参数指标参照实际系统设置。

(1) 基带信号: 音频, 最大幅度为 1。基带测试信号频率在 100~6 000Hz 内可调。

(2) 载波: 给定幅度的正弦波, 为简单起见, 初相设为 0, 频率为 550~1 605kHz 可调。

(3) 接收机选频滤波器带宽为 12kHz, 中心频率为 1 000kHz。

(4) 在信道中加入噪声。当调制指数为 0.3 时, 设计接收机选频滤波器输出信噪比为 20dB, 要求计算信道中应该加入噪声的方差, 并能够测量接收机选频滤波器实际输出信噪比。

#### 1. 信道噪声方差的计算

系统工作最高频率为调幅载波频率 1 605kHz, 设计仿真采样率为最高工作频率的 10 倍左右, 因此取仿真步长为

$$t_{\text{step}} = \frac{1}{10f_{\text{max}}} = 6.23 \times 10^{-8} \text{s} \quad (3.8-1)$$

相应的仿真带宽为仿真采样率的一半, 即

$$W = \frac{1}{2t_{\text{step}}} = 8\,025.7 \text{kHz} \quad (3.8-2)$$

设基带信号为  $m(t) = A \cos 2\pi F t$ , 载波为  $c(t) = \cos 2\pi f_c t$ , 则调制指数为  $m_a$  的调制输出信



号  $s(t)$  为

$$s(t) = (1 + m_a \cos 2\pi Ft) \cos 2\pi f_c t \quad (3.8-3)$$

显然,  $s(t)$  的平均功率为

$$P = \frac{1}{2} + \frac{m_a^2}{4} \quad (3.8-4)$$

设信道无衰减, 其中加入的白噪声功率谱密度为  $n_0/2$ , 那么仿真带宽  $(-W, W)$  内噪声样值的方差为

$$\sigma^2 = \frac{n_0}{2} \times 2W = n_0 W \quad (3.8-5)$$

设接收选频滤波器的功率增益为 1, 带宽为  $B$ , 则选频滤波器输出噪声功率为

$$N = \frac{n_0}{2} \times 2B = n_0 B \quad (3.8-6)$$

因此, 接收选频滤波器输出信噪比为

$$SNR_{out} = \frac{P}{N} = \frac{P}{n_0 B} = \frac{P}{\sigma^2 B / W} \quad (3.8-7)$$

故信道中的噪声方差为

$$\sigma^2 = \frac{P}{SNR_{out}} \cdot \frac{W}{B} \quad (3.8-8)$$

代入设计要求的输出信噪比  $SNR_{out}$  可计算出相应信道中应加入的噪声方差值, 计算程序和结果如下:

$0.5 + 0.3^2 / 4$

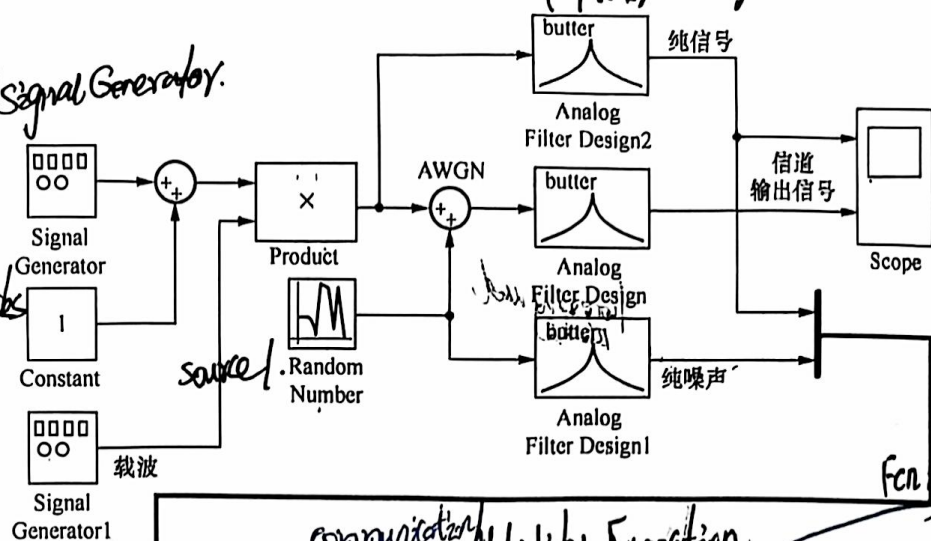
SNR_dB=20;	% 设计要求的输出信噪比 (dB)
SNR=10.^(SNR_dB/10);	
m_a=0.3;	% 调制度
P=0.5+(m_a^2)/4;	% 信号功率
W=8025.7e3;	% 仿真带宽 Hz
B=12e3;	% 接收选频滤波器带宽 Hz
sigma2=P/SNR*W/B	% 计算结果: 信道噪声方差
sigma2 =	
3.4945	

## 2. 系统模型

根据实际中波调幅广播传输系统设计仿真模型, 如图 3-39 所示。其中, 系统仿真步进以及零阶保持器采样时间间隔、噪声源采样时间间隔均设置为  $6.23e-8s$ , 基带信号为幅度是 0.3 的 1000Hz 正弦波, 载波为幅度是 1 的 1MHz 正弦波。用加法器和乘法器实现调幅, 用 Random Number 模型产生零均值方差等于 3.4945 的噪声样值序列, 并用加法器实现 AWGN 信道。接收带通滤波器用 Analog Filter Design 模块实现, 可设置为 2 阶带通的, 通带为  $2 * \pi * (1e6 - 6e3) \sim 2 * \pi * (1e6 + 6e3) \text{rad/s}$ 。为了测量输出信噪比, 以参数完全相同的另外两个滤波器模块分别对纯信号和纯噪声滤波, 最后利用统计模块计算输出信号功率和噪声功率, 继而计算输出信噪比。

Simulink / Source / Signal Generator.

Commonly used Blocks



Simulink / User-Defined Function.

Simulink / Discrete /

Communication / Utility Function.

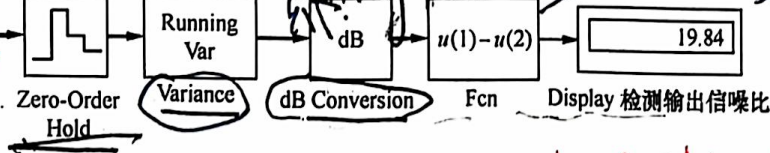


图 3-39 中波调幅广播传输系统仿真模型 ch3 example1.mdl  
 Variance: DSP Blockset / Signal management / Statistics

### 3. 仿真结果

DSP Blockset / math functions / dB Conversion

dB Conversion: Communication / Modulation / Utility Function

某次仿真执行后，测试信噪比结果，如图 3-39 所示。接收滤波器输出的调幅信号和发送调幅信号的波形仿真结果，如图 3-40 所示。

Variance: Signal processing Blockset / Signal statistics / Variance

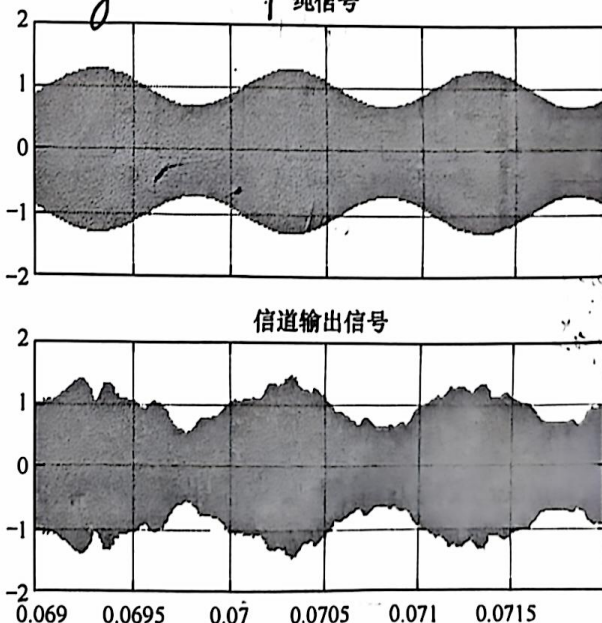


图 3-40 发送调幅信号和输出调幅信号仿真结果

### 3.8.3 调幅包络检波和相干解调仿真

以 3.8.2 小节中的调幅广播系统为传输模型，在不同输入信噪比条件下仿真测量包络检波解调和同步相干解调的输出信噪比，观察包络检波解调的门限效应。