

# 通信对抗接收机建模与 Simulink 动态仿真

吴微露, 丁亚飞

(解放军电子工程学院电子系, 合肥 230037)

**摘要:** 针对通信对抗系统中超外差接收机的建模仿真问题, 以 Matlab 中的 Simulink 软件包作为工具建立基于 Simulink 仿真平台的超外差接收机的仿真模型, 给出频率为 5 kHz 的调幅信号的动态仿真实例, 并得到各关键点的仿真波形图和频域图, 实验结果证明了该建模方法的有效性。

**关键词:** 超外差接收机; Simulink 技术; 动态仿真

## Modeling of Communication EW Receiver and Dynamic Simulink Simulation

WU Wei-lu, Ding Ya-fei

(Dept. of Electronic, Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037)

**【Abstract】** Aiming at the problem of modeling and simulation of superheterodyne receiver in communication Electronic Warfare(EW) system, this paper utilizes Simulink of software bundle in Matlab to construct simulation model of superheterodyne receiver based on Simulink platform. Dynamic simulation example of the amplitude modulation signal with the frequency of 5 kHz is given, and simulation waveforms and frequency chart are given. Experimental results show that the modeling method is effective.

**【Key words】** superheterodyne receiver; Simulink technology; dynamic simulation

### 1 概述

电子对抗在现代战争中起着越来越重要的作用, 由于武器系统和电子战装备不断更新、面临的作战环境日趋复杂, 因此世界军事强国根据作战的需要, 非常重视电子对抗技术和装备的发展<sup>[1]</sup>。随着现代电子技术特别是计算机技术的发展, 仿真技术越来越广泛地应用到电子战装备技术的研究中。仿真技术与通信对抗装备的结合为电子战装备的改进和性能评估提供了可靠的依据。Matlab 是美国 Mathworks 公司推出的语言软件, 交互式的模型输入与 Simulink 工具箱是 Matlab 软件的扩展。Simulink 是一种用来对系统进行可视化建模、动态仿真与分析的集成环境, 为用户提供了用框图进行建模仿真的图形接口。因此, 利用 Matlab 语言及其 Simulink 工具箱对通信接收机进行仿真和分析是非常方便有效的。

### 2 超外差接收机的建模

超外差接收体制是短波全景接收机经常采用的一种接收机体制<sup>[2]</sup>。预选器从密集的信号环境中选出一定通带内的信号, 通过高放送入混频器中, 与本振电压差拍变为中频信号; 再经过中放、检波和低放, 送给处理器; 通过改变本振频率实现频率搜索。

#### 2.1 数学模型建立

天线接收的射频信号经过传输信道后十分微弱, 应用频率搬移的方法, 可以将增益分配到工作在不同频段的若干放大器上, 在获得很高增益的同时又保证了系统的稳定。

天线接收调幅波为

$$v = V_0(1 + M_a \cos \omega t) \cos \omega_0 t \quad (1)$$

高放后

$$v_1 = A_v \cdot v$$

经混频、滤波, 得

$$v_2 = v_1 \cdot A \cos \omega t = \frac{A}{2} \cdot A_v V_0 (1 + M_a \cos \omega t) \cos(\omega_1 - \omega_0) t - \frac{A}{2} \cdot A_v V_0 (1 + M_a \cos \omega t) \cos(\omega_1 + \omega_0) t$$

中频放大后得

$$v_3 = A_{v1} \times v_2$$

检波结果为

$$v_4 = \frac{v_3}{\cos(\omega_1 - \omega_0) t} = \frac{A}{2} A_{v1} A_v V_0 (1 + M_a \cos \omega t)$$

搬移低频放大得

$$v_5 = A_{v2} \left( v_4 - \frac{A}{2} A_v A_{v1} V_0 \right) = \frac{A}{2} A_v A_{v1} A_{v2} V_0 M_a \cos \omega t$$

可以看出, 如果整个系统用一个表达式表示, 不但繁琐, 而且接收过程不清楚。因此, 采用了递推方式的模型, 力争把接收的每个环节都在 Simulink 中体现并得到仿真结果。

#### 2.2 仿真中的等效低通信号

对于载波调制系统, 低通等效方法是仿真的主要方法。应用低通等效信号构建仿真模型可以显著降低系统的采样速率。低通等效方法本身是直观的, 简要描述如下: 任何载波调制信号  $x(t)$  都可表示为

$$x(t) = r(t) \cos[2\pi f_c t + \phi(t)] = \text{Re} \left[ r(t) e^{j(2\pi f_c t + \phi(t))} \right] = \text{Re} \left[ r(t) e^{j\phi(t)} e^{j2\pi f_c t} \right] \quad (2)$$

其中,  $r(t)$  是信号的幅度调制;  $\phi(t)$  是相位调制;  $f_c$  是载波频率

**作者简介:** 吴微露(1973 -), 女, 讲师、硕士, 主研方向: 通信对抗装备; 丁亚飞, 教授

**收稿日期:** 2009-05-13 **E-mail:** xj\_wwl7202@sohu.com

率。信号  $x(t) = r(t)e^{j\omega t}$  明显包括所有相关的信息变量，且具有低通的性质，它常被称为信号的低通等效或信号的复包络。式(2)用来表示  $x(t)$  的低通等效。如果  $x(t)$  的带宽是  $B$ ，则窄带条件  $B \ll f_c$  经常是满足的。在这个条件下， $x(t)$  的带通滤波可以采用低通等效作为输入来估计。

在现代电子战的环境中，通信信号占用的电磁频谱越来越宽，可达 2 MHz~2 GHz。在仿真中，如果直接对信号进行采样，则系统的采样率经常高达几百或几千兆赫兹，显然这将严重影响系统的设计和实时性要求。而在对超外差接收机进行仿真时，只关心侦察接收机截获到的信号与本振混频后差频在允许误差范围内的信号，这个差频通常在几万赫兹以

内，同时，一个实际的无线电通信信号带宽一般为几万赫兹到几十万赫兹，远小于载波频率，可见，实际有用信息对应的信号频带并不宽。因此，在仿真中没有必要根据载频直接采样，可采用等效低通信号简化处理，根据通信信号的有效带宽设计系统的采样率，等效低通信号附加频率信息即可复现窄带信号，可在不损失通信信号所携带的有用信息的情况下大大降低系统的采样率。

### 3 Simulink 动态仿真实现

通信信号工作的频率范围很宽，而 2 MHz~30 MHz 的短波频段是军事无线通信信号工作的主要频段<sup>[3-4]</sup>。基于 Simulink 的短波接收机仿真模型如图 1 所示。

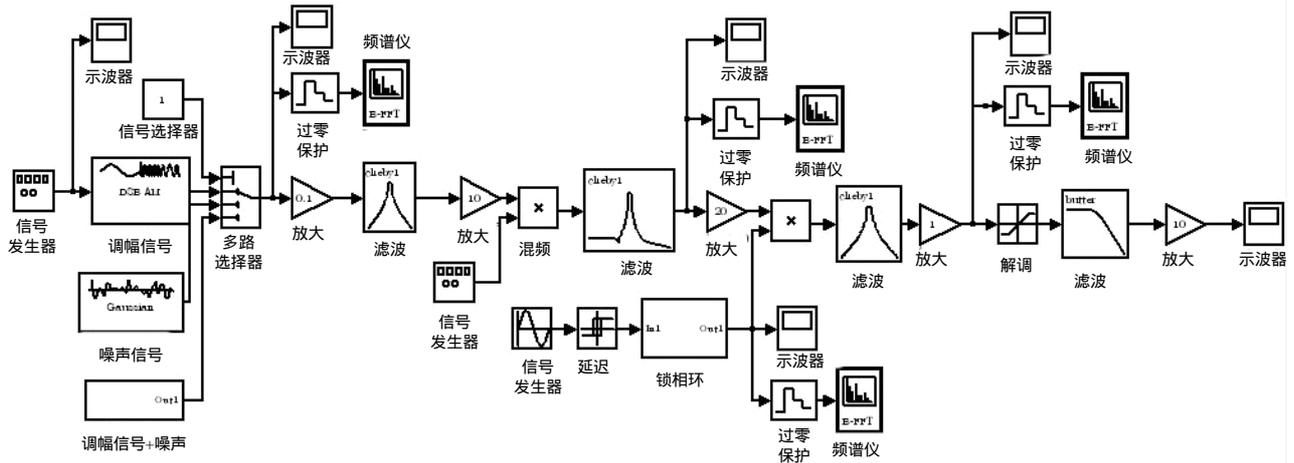


图 1 通信对抗短波分析接收机的 Simulink 仿真模型

整个仿真模型建立在 2 次混频的超外差接收机的模型基础之上，为了使仿真更具真实性，为开始接收的射频信号设计了 3 个选择信号：一个调幅信号，一个噪声信号和一个调幅加噪声信号，用信号选择器进行控制。同时对二本振信号进行了锁相环的设计并进行了封装，对几个节点的信号进行时域和频域上的分析。仿真结果如图 2~图 5 所示，其中，图 2~图 4 中的时间偏移量为 0.04。

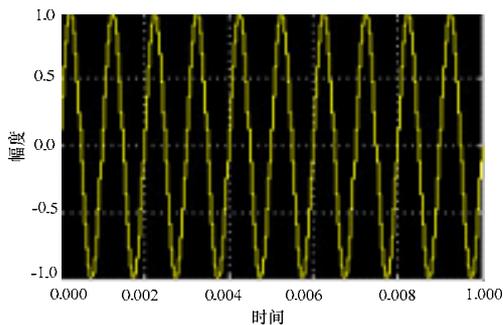


图 2 调制信号

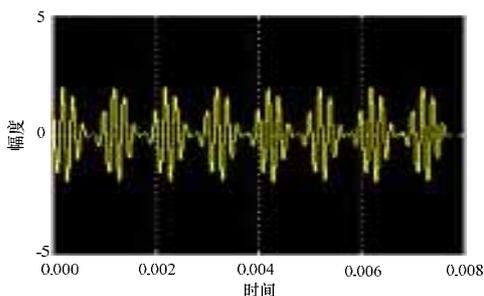


图 3 基带信号

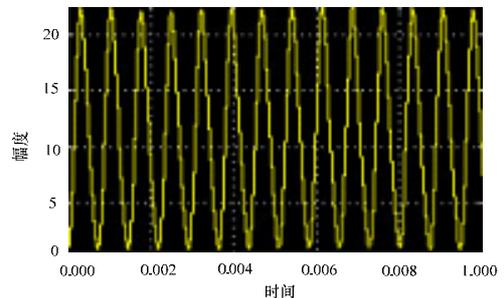


图 4 音频解调信号

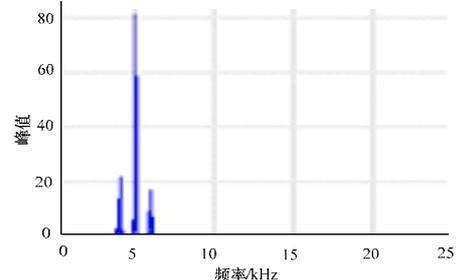


图 5 调制信号频谱

在示波器中可以清楚地看到，超外差接收系统各部分的输出波形以及整个系统的变化过程。这样就完成了超外差接收系统在 Simulink 环境中的动态仿真。

### 4 结束语

本文在研究超外差接收机建模仿真方法的基础上，重点研究了如何在 Simulink 仿真环境下对其进行建模，并给出了仿真实例，仿真结果表明本文所采用的建模方法是有效的。

(下转第 228 页)