

基于 SPW 的有源压制性干扰建模与仿真

李兴成, 陶建锋, 田建锋

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘要: 有源压制性干扰模型是雷达系统仿真环境模型库的重要组成部分, 本文对有源压制性干扰进行了理论分析, 建立了基于 SPW 平台的有源压制性干扰模型, 依据仿真结果指出了各种有源压制性干扰的优缺点和适用场合

关键词: 有源压制性干扰; 建模; 仿真; SPW

中图分类号: TN972 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)04-0030-04

有源压制性干扰就是用噪声或类似噪声的干扰信号遮盖或淹没有用信号, 阻止雷达检测目标信息。任何一部雷达都有外部噪声和内部噪声, 雷达对目标的检测是在这些噪声中进行的, 一般来说, 如果目标信号幅度与噪声幅度相比, 超过检测门限, 则可以保证在一定虚警概率条件下达到一定的检测概率, 即可发现目标, 否则不能发现目标^[1]。有源压制性干扰就是使强干扰功率进入雷达接收机, 尽可能降低信噪比, 造成雷达对目标检测的困难。本文在 SPW 平台上建立了有源压制性干扰模型, 并对其特性进行了分析与总结。

1 基于 SPW 的有源压制性干扰建模与仿真

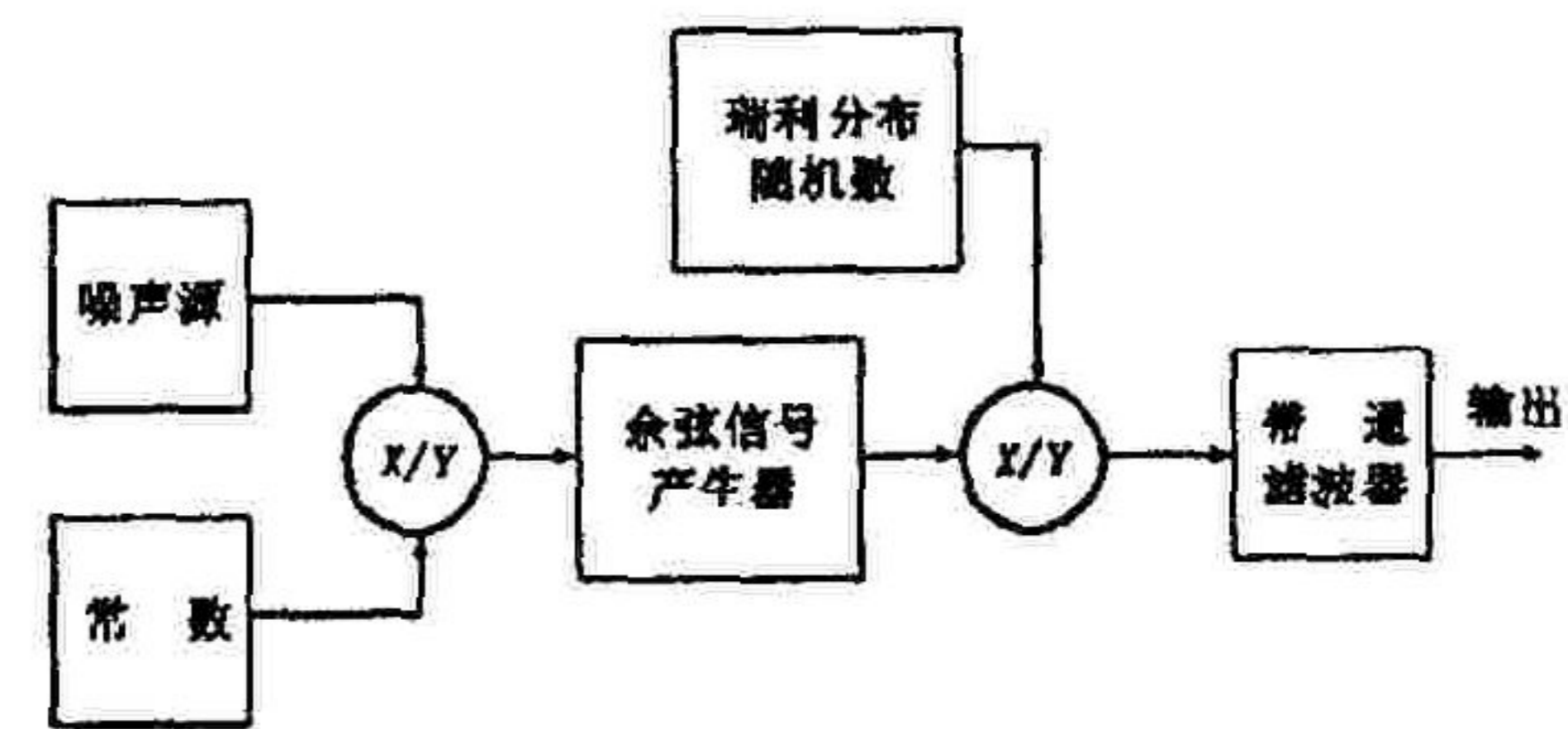
1.1 射频噪声干扰

窄带高斯过程

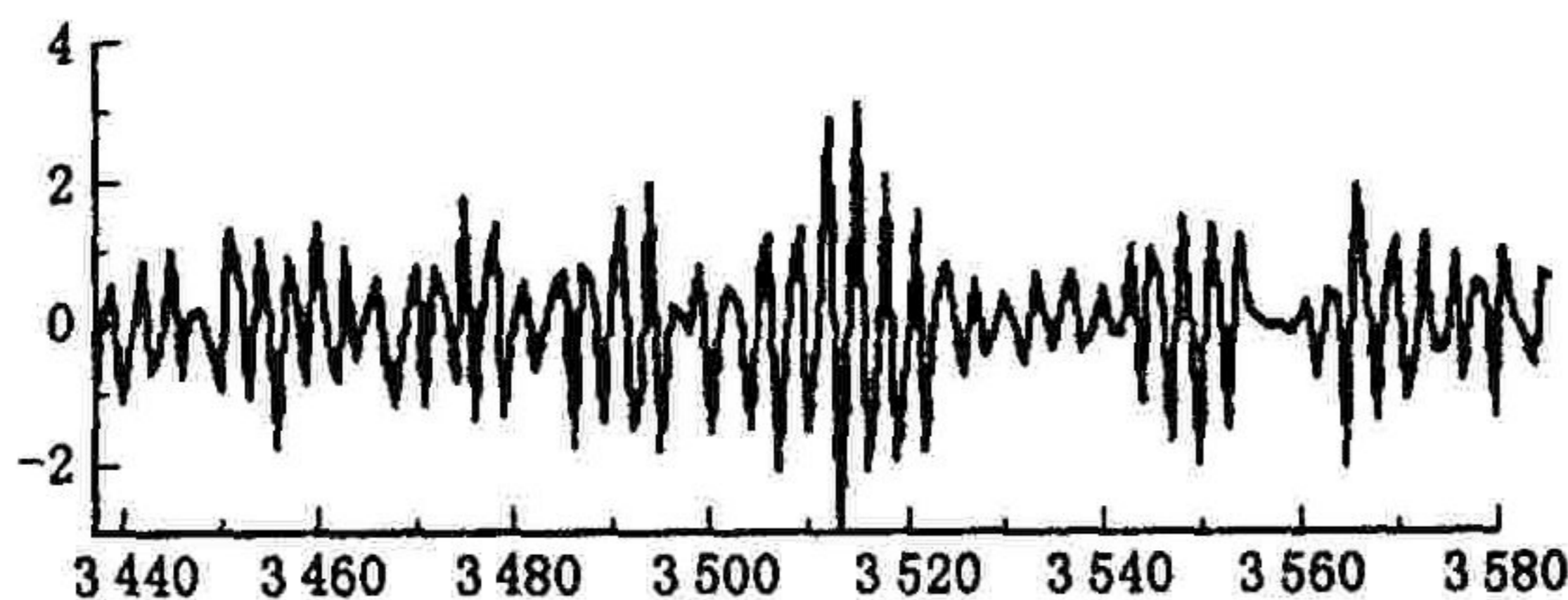
$$J(t) = U_n(t) \cos[\omega_c t + \phi(t)] \quad (1)$$

称为射频噪声信号。其中: 包络函数 $U_n(t)$ 服从瑞利分布, 相位函数 $\phi(t)$ 服从 $[0, 2\pi]$ 均匀分布, 二者相互独立; 载频 ω_c 为常数, 且远大于 $J(t)$ 的谱宽。

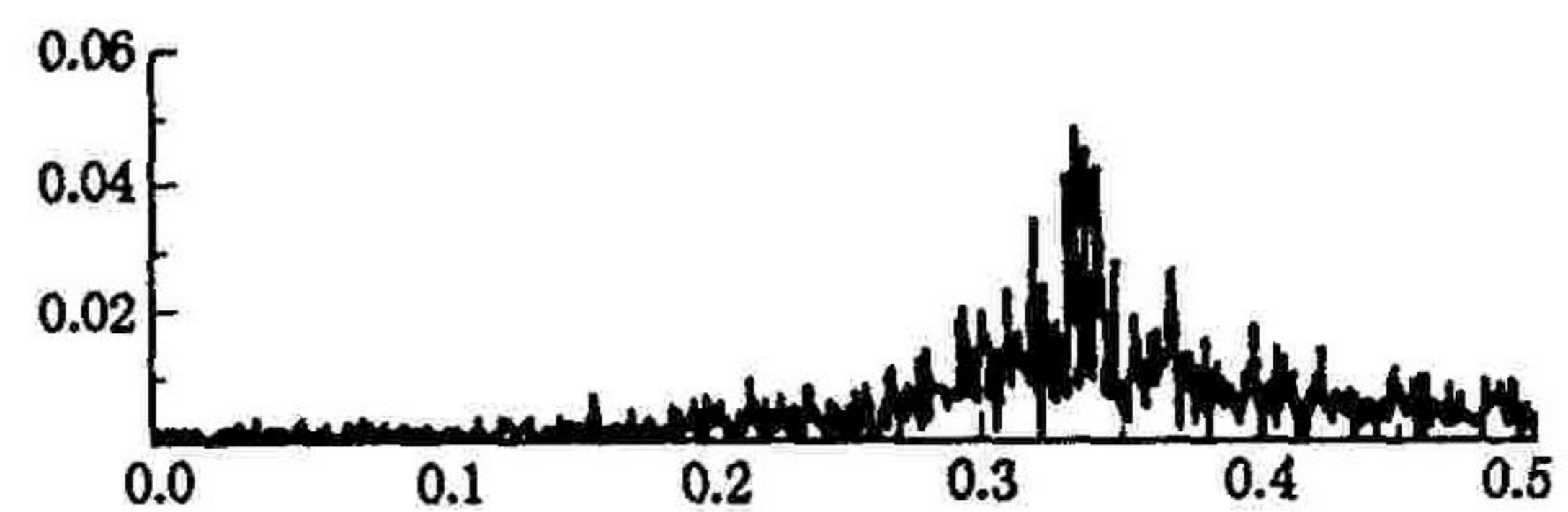
在 SPW 中建模时, 可以先产生瑞利分布随机数和 $[0, 2\pi]$ 上均匀分布的随机数, 然后再进行相关处理即可得到射频噪声信号。图 1 是射频噪声干扰模型和仿真测试结果。本文所有干扰模型参数设计如下: 采样频率为 3.0 MHz, 载频 1 MHz, 干扰带宽 0.1 MHz。幅频特性图采用归一化频率轴。



(a) 射频噪声干扰模型



(b) 射频噪声干扰波形



(c) 射频噪声干扰幅频特性

图1 射频噪声干扰模型和仿真测试结果

收稿日期: 2004-10-26

作者简介: 李兴成(1978-), 男, 陕西三原人, 博士生, 主要从事雷达对抗、雷达系统仿真研究。

图1(a)中,在 $[0, 2\pi]$ 上均匀分布的随机数与一常数相乘转化为余弦信号产生器(signal gen)的相位信息,余弦信号产生器的输出与瑞利分布随机数相乘后通过低通滤波器即输出射频噪声干扰,从仿真的结果来看射频噪声干扰是一种遮盖性较好的干扰样式,但实际中微波器件产生的噪声功率太低(微瓦级),难以对其进行微波功率放大,所以较难得到大的干扰功率,所以这种干扰形式仅具有理论分析意义。

1.2 噪声调幅干扰

广义平稳随机过程

$$J(t) = [U_0 + U_n(t)] \cos[\omega_j t + \varphi] \quad (2)$$

称为噪声调幅(AM)信号。其中:调制噪声 $U_n(t)$ 为零均值、方差为 σ_n^2 ,在区间 $[-U_0, \infty)$ 分布的广义平稳的随机过程;相位 φ 为 $[0, 2\pi]$ 均匀分布,且是与 $U_n(t)$ 相互独立的随机变量; ω_j 为噪声调幅信号的中心频率; U_0 为噪声调幅信号的幅度。

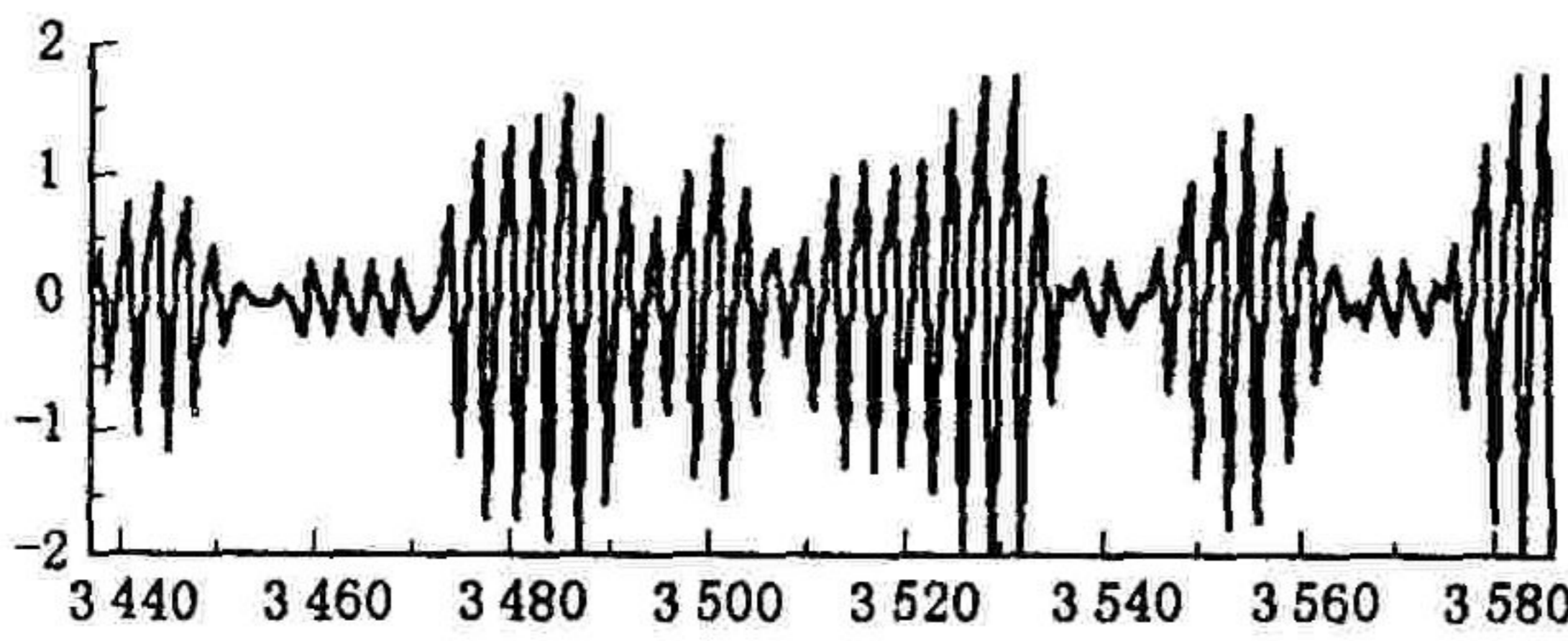
噪声调幅干扰的功率谱为

$$G_j(f) = P_j \delta(f - f_j) + \frac{1}{4} G_j(f - f_j) + \frac{1}{4} G_j(f_j - f) \quad (3)$$

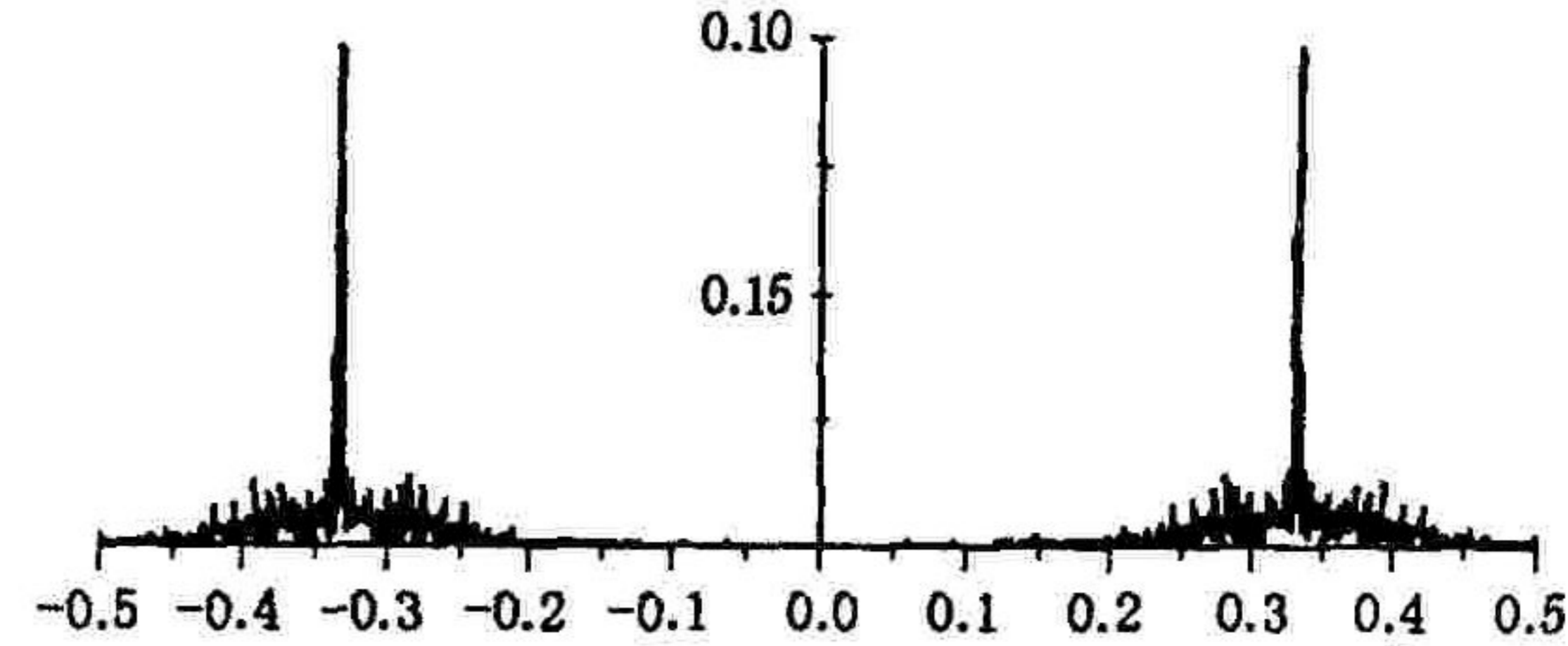
图2是噪声调幅干扰仿真测试结果,仿真时首先产生一定带宽的视频噪声,然后对视频噪声进行限幅,最后进行幅度调制,即产生在时域和频域上均符合要求的噪声调频干扰。从噪声调幅信号的频谱来看,其主要的干扰能量集中在干扰载频上,旁瓣功率有限,所以,噪声调幅干扰较适合于窄带瞄准式干扰。



(a) 噪声调幅干扰模型



(b) 噪声调幅干扰波形



(c) 噪声调幅干扰幅频特性

图2 噪声调幅干扰模型和仿真测试结果

1.3 噪声调频干扰

广义平稳随机过程

$$J(t) = U_j \cos[\omega_j t + 2\pi K_{FM} \int_0^t u(t') dt' + \varphi] \quad (4)$$

称为噪声调频(FM)信号。其中:调制噪声 $u(t)$ 为零均值、广义平稳的随机过程;相位 φ 为 $[0, 2\pi]$ 均匀分布,且是与 $u(t)$ 相互独立的随机变量; ω_j 为噪声调频信号的中心频率; U_j 为噪声调频信号的幅度; K_{FM} 为调频斜率。

文献[2]对射频噪声干扰的谱特性进行了详细的分析,得出结论如下:

当 $m_{fe} \gg 1$ 时

$$G_j(f) = P_j \frac{1}{\sqrt{2\pi} f_{de}} e^{-\frac{(f-f_j)^2}{2f_{de}}} \quad (5)$$

$$\Delta f_j = \sqrt{2 \ln 2} f_{de} = \sqrt{2 \ln 2} K_{FM} \sigma_n \quad (6)$$

当 $m_{fe} \ll 1$ 时

$$G_j(f) = P_j \frac{\frac{f_{de}^2}{2\Delta F_n}}{\left(\frac{\pi f_{de}^2}{2\Delta F_n}\right)^2 + (f - f_j)^2} \quad (7)$$

$$\Delta f_j = \frac{\pi f_{de}^2}{\Delta F_n} = \pi n f_{fe}^2 \Delta F_n \quad (8)$$

当 m_{fe} 介于上述两种情况之间时,对于 $m_{fe} \leq 0.75$ 可按式(8) 计算, $m_{fe} \geq 0.75$ 时,可按式(6) 计算。

以上各式中, m_{fe} 为有效调频指数, $m_{fe} = K_{FM}\sigma_n/\Delta F_n = f_{de}/\Delta F_n$, f_{de} 为有效调频带宽, Δf_j 为半功率干扰带宽, ΔF_n 为调制噪声带宽, σ_n 为调制噪声方差, P_j 为载波功率。

噪声调频信号在 SPW 平台的实现图及其仿真结果如图 3 所示(有效调频指数 m_{fe} 为 2)。

以上的分析表明,噪声调频信号频谱控制较为灵活,改变式(6) 和式(8) 中的参数,可以得到宽带干扰,因此可用于阻塞式干扰,同样改变参数也可以得到窄带瞄准式干扰,本文对不同有效调频指数 m_{fe} 的情形进行了仿真,结果如图 3(c ~ d) 所示,仿真结果表明在只改变有效调频指数 m_{fe} 的情况下,干扰带宽随着 m_{fe} 的增大而变宽。噪声调频干扰是目前应用比较广泛的一种干扰样式。

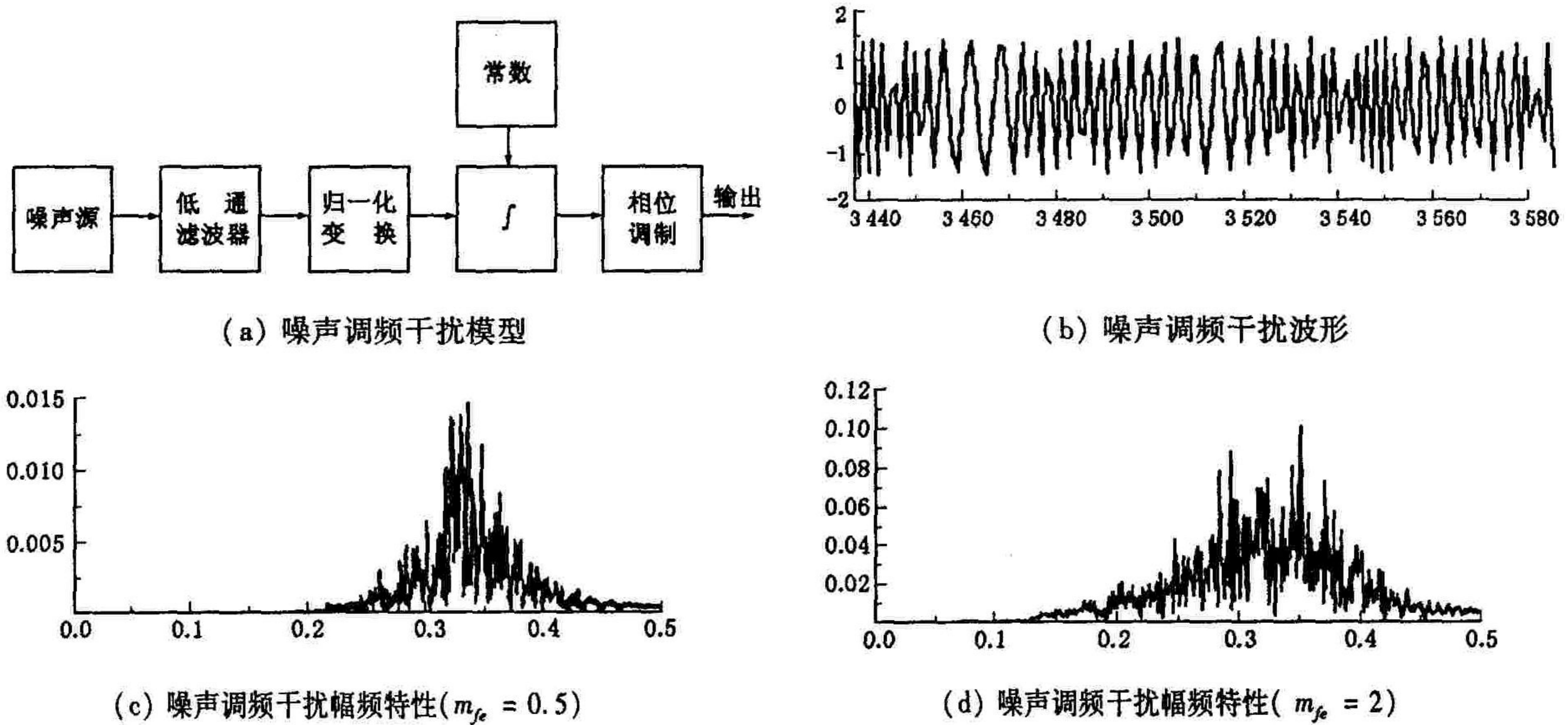


图 3 噪声调频干扰模型及仿真测试结果

1.4 噪声调相干扰

广义平稳随机过程

$$J(t) = U_j \cos[\omega_j t + K_{PM}u(t) + \varphi] \tag{9}$$

称为噪声调相(PM)信号。其中:调制噪声 $u(t)$ 为零均值、广义平稳的随机过程;相位 φ 为 $[0, 2\pi]$ 均匀分布,且是与 $u(t)$ 相互独立的随机变量; ω_j 为噪声调频信号的中心频率; U_j 为噪声调相信号的幅度; K_{PM} 为调相斜率;噪声调相干扰模型实现图及其仿真结果如图 4 所示。从仿真结果来看,干扰带宽与调相斜率 K_{PM} 呈正比关系。

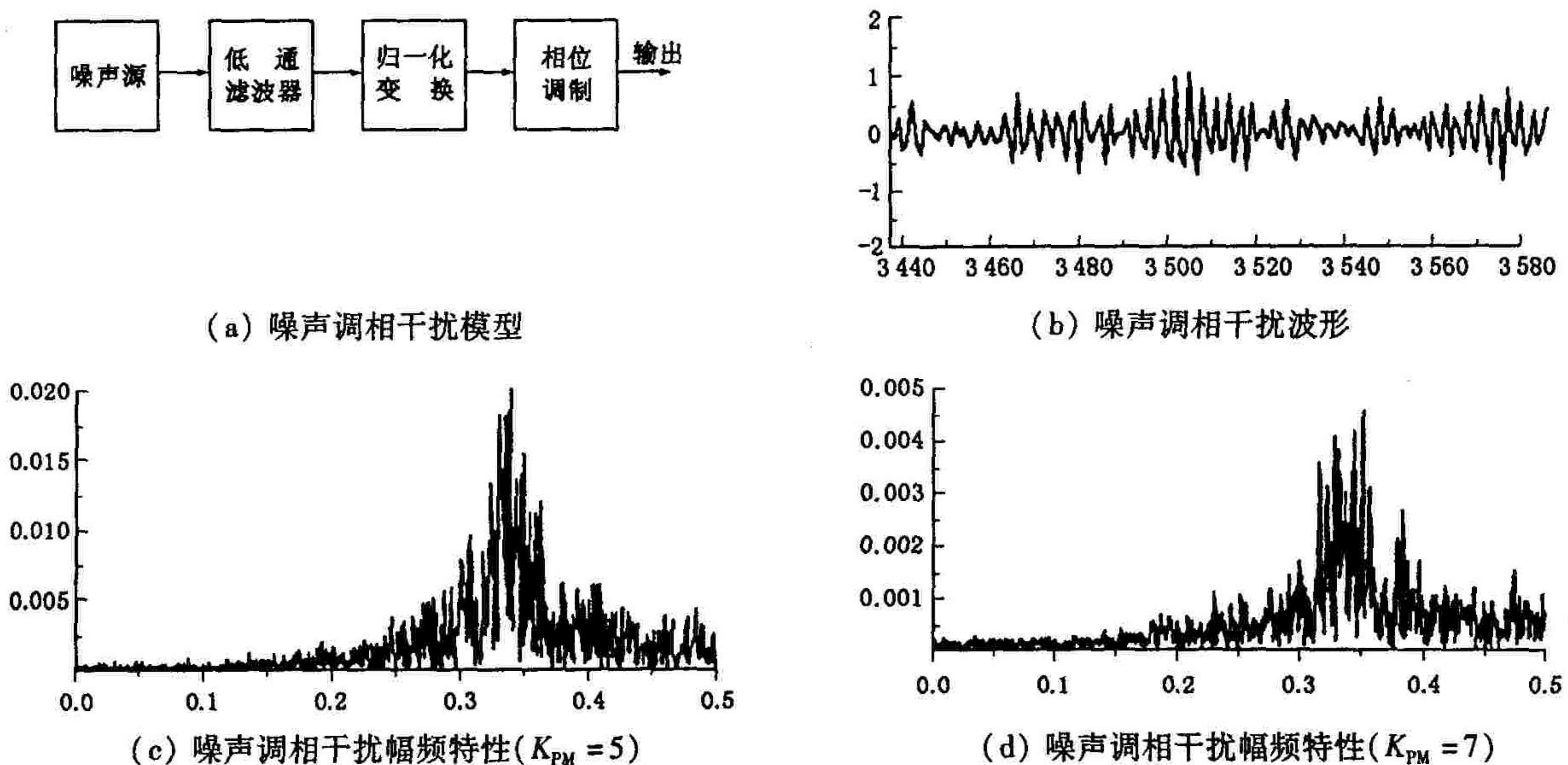


图 4 噪声调相干扰模型及仿真测试结果

2 结束语

有源压制性干扰模型是雷达系统仿真环境模型库的重要组成部分,在 SPW 平台上规范地建立其仿真模型,为开展干扰条件下雷达系统仿真及其性能评估提供了仿真环境。

参考文献:

- [1] 王明宇,袁汉雄. 多目标环境下的雷达 CFAR 检测[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(5):57-59.
- [2] 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安:西安电子科技大学,1999.
- [3] 唐自新,孙晓闻. 基于 SPW 的雷达信号处理系统仿真[J]. 计算机仿真,2003,(6):74-76.
- [4] 徐卫,张林让. 利用 SPW 软件进行雷达信号处理系统的仿真[J]. 计算机工程与应用,2003,25:217-219.

(编辑:田新华)

Modeling and Simulation of Complex Active Blanket Jamming Based on SPW

LI Xing - cheng, TAO Jian - feng, TIAN Jian - feng

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract:The model of the active blanket jamming is an important part of environment model library in the radar system simulation. The active blanking jamming is analyzed theoretically, and the model of it is established based on SPW, the advantages and disadvantages are presented based on the simulation results, all of this would be a basis for the radar simulation under the environment with jamming.

Key words: active blanking jamming; modeling; simulation ; SPW

(上接第 22 页)

参考文献:

- [1] 钱颂迪. 运筹学[M]. 北京:清华大学出版社, 1990.
- [2] 复旦大学. 概率论(第三册,随机过程卷)[M]. 北京,人民教育出版社,1981.
- [3] 禹海波,李玉凯. 带有启动的离散时间排队[J]. 工程数学学报 1999. 16 (4): 65-70.
- [4] 辛永平,李军. 指数法在防空系统效能评价中的运用[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2002. 3(2):56-58.
- [5] 陈怀谨. 防空导弹武器系统总体设计与试验[M]. 北京:宇航出版社,1995.

(编辑:田新华)

Queuing Model Statistical Equilibrium Research of the Ground -air

Missile Weapon System Combat Effectiveness Analysis

HAN Jun - jie, LI Wei - min, LIU Fu - xian

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract:Based on the modern combat environment and air attack mode that confronted the ground - air missile weapon system, combined with the fire theory of the ground - air missile firepower unit, the queuing model of the combat effectiveness analysis is established, and the statistical equilibrium of the model is analyzed emphatically.

Key words:ground - air missile weapon system; effectiveness analysis; queuing theory; statistical equilibrium