

基于 Simulink 的锁定放大器仿真技术的实现

Simulation of Lock-in Amplifier Based on Simulink

王琦(电子科技大学 电子工程学院,四川 成都 611731)

Wang Qi (School of Electronic Engineering, University of Electronic Science

and Technology of China, Sichuan Chengdu 611731)

摘要 锁相放大器是实现噪声中微弱信号参量测量的一种有效检测装置。该文介绍了锁定放大器的原理与实现方法,并利用 MATLAB 的 Simulink 工具箱对锁定放大器进行了建模和仿真。仿真结果表明,锁定放大器能很好地完成微弱信号测量。

关键词 弱信号;锁定放大器;Simulink;MATLAB

中图分类号:TN722

文献标识码:A

文章编号:1003-0107(2012)08-0013-02

Abstract: Lock-in amplifier is an effective solution to detect weak signals. This paper attempts to introduce the principle of the LIA and also use the Simulink tools to modeling and simulate the LIA system. The result shows that LIA do well in detecting weak signals.

Key words: weak signal; Lock-in amplifier; Simulink; MATLAB

CLC number: TN722

Document code: A

Article ID: 1003-0107(2012)08-0013-02

0 引言

随着电子技术的迅速发展,检测技术也得到极大的提高,传感器和微处理芯片的广泛应用使得弱信号检测技术有了极大的发展^[1]。其中,相关检测法是利用被测信号与参考信号做互相关运算从而将待测信号从强噪声背景中提取出来,实现弱信号检测。在相关检测系统中,锁定放大器是其核心器件。

1 锁定放大器工作原理

锁定放大器的输入由两路通道组成,分别为信号通道和参考通道。信号通道主要完成待测弱信号的放大作用,参考通道用以产生与被测信号同频率的正弦波^[2]。锁定放大器的核心器件主要由乘法器和低通滤波器构成,它的原理框图如图 1 所示。

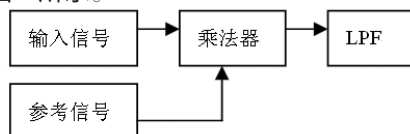


图 1 锁定放大器原理图

设输入信号为:

$$V_{sig} = A \sin(\omega t + \theta) \quad (1)$$

参考信号为:

$$V_{ref} = B \sin(\omega t) \quad (2)$$

输入信号与参考信号经过乘法器后:

$$V_{out} = A \sin(\omega t + \theta) B \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$V_{out} = \frac{AB}{2} [\cos(\theta) - \cos(2\omega t + \theta)] \quad (4)$$

经过低通滤波器滤除高频成分:

$$V_{out} = \frac{AB}{2} \cos \theta \quad (5)$$

输出为直流分量,为求得输入信号的幅值相位信息,将参考信号相移 90 度相乘后输出为:

$$V_{out90} = \frac{AB}{2} [\cos(\theta - \frac{\pi}{2}) - \cos(2\omega t + \theta + \frac{\pi}{2})] \quad (6)$$

滤波后为:

$$V_s = \frac{AB}{2} \sin \theta \quad (7)$$

由式(5)和式(7)可得:

$$A = 2 \sqrt{V_{out}^2 + V_s^2} \quad (8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{V_s}{V_{out}} \right) \quad (9)$$

乘法器和低通滤波器只检测频率非常接近于参考频率的信号。远离参考频率的噪声信号被低通滤波器削弱。在低通滤波器输出端频率非常接近参考频率的噪声信号会生成频率极低的交流信号。因此,滤波器的带宽和过渡带对检测的精度有直接的影响。滤波器带宽较窄时,频率在参考频率附近的噪声源可以被完全滤掉,而较宽的带宽会允许这些噪声通过,只有与参考频率相同的信号才能不受低通滤波器的影响产生实际的直流输出信号,将弱信号检出。

2 建立锁定放大器系统的 Simulink 模型

基于 MATLAB 的工具箱允许 MATLAB/Simulink 使用实用的图形技术, 建模方式模块化, 每个模块对应各自的输入输出端口, 通过建立若干个仿真模块之间的关系, 使得仿真设计直观便捷, 并且有利于模型的扩展^[3]。

Simulink 中建立的锁定放大器模型如图 2 所示。

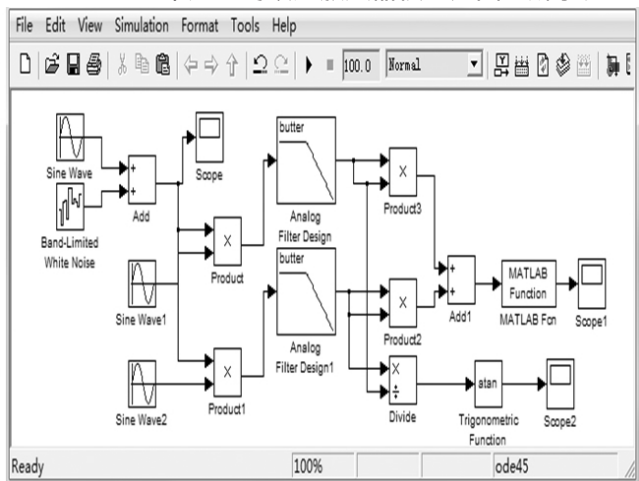


图 2 锁定放大器仿真模型

该模型中主要包括的系统模块有：

(1)弱信号产生模块: 利用 Simulink 中白噪声信号产生模块与待测正弦波叠加产生, 白噪声幅值远大于待测信号幅值使待测信号深埋在噪声中。

(2)参考信号产生模块: 分别产生一路正弦波和一路余弦波信号。

(3)滤波器设计模块: 利用 signal processing blockset 模块中的 filtering 设计 butterworth 低通滤波器。

(4)运算模块: 由 math operations 中的乘法器, 除法器, 加法器, 开方, 反函数模块构成。

(5)显示观察模块: 本设计设置三个示波器, 分别观察叠加噪声后的待测信号, 以及经过锁定放大器后待测信号的幅值和相位。

3 仿真结果及分析

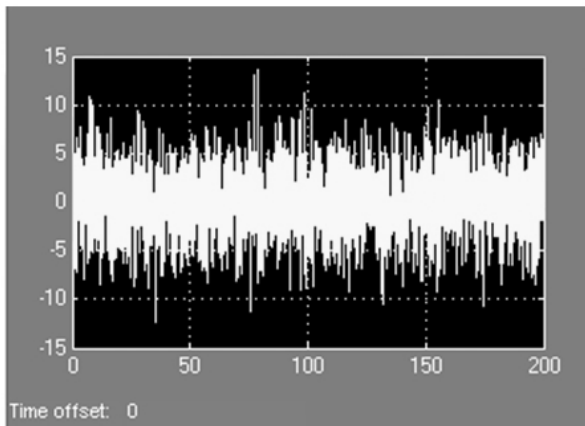


图 3 信号通道中的波形

仿真起始时间为 0 终止时间为 200, 仿真时, 设待测信号为幅值 1 频率 10Hz 相位 $\pi/3$ 的正弦波信号, 噪声为均值 0, 均方差 10 的白噪声。

叠加后波形如图 3 所示, 待测信号已经深埋入噪声信号。

经过锁定放大器后仿真波形输出如图 4 所示。

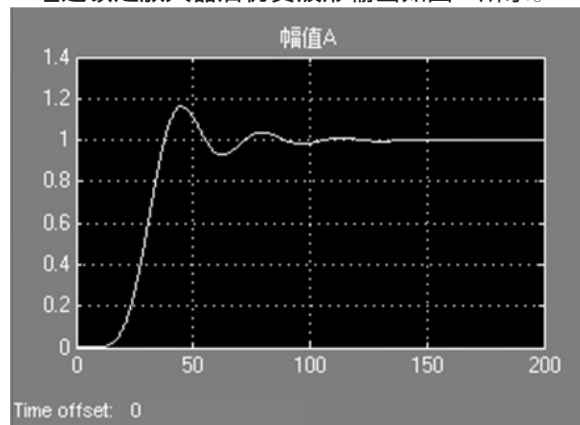


图 4 弱信号幅值

仿真求出的输出相位如图 5 所示。

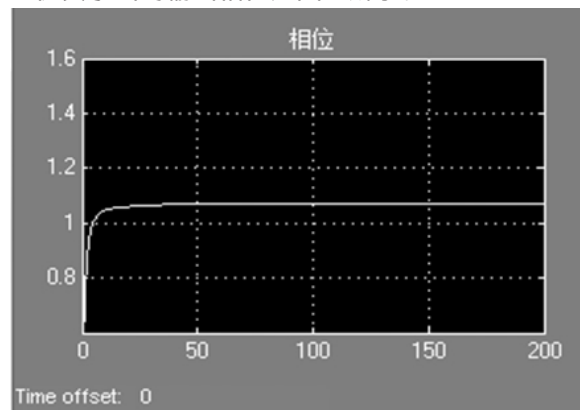


图 5 弱信号相位值

由图 4 和图 5 可以看出, 未经线性放大的仿真输出结果相位约为 1.04rad, 幅度约为 0.99。幅度在仿真时间为 125 后接近理想值, 该模型准确地测量出了待测有用信号的幅度和相位。

4 结论

通过对锁定放大器的仿真, 全面展示了 Simulink 设计仿真技术的应用。仿真结果证明, 锁定放大器是非常有效的弱信号检测系统, 这有助于研究工作的进一步展开。

参考文献：

- [1]高晋占.微弱信号检测[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [2]曾庆勇.微弱信号检测[M].浙江:浙江大学出版社,2003.
- [3]薛定宇,陈阳泉.基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M].北京:清华大学出版社,2002.