

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2020.02.013

滚动轴承早期故障优化自适应随机共振诊断法

郑煜¹, 王凯², 杨利红¹

(1. 陕西工业职业技术学院 机械工程学院, 陕西 咸阳 712042;
2. 西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要:针对滚动轴承不同零件早期故障诊断难的问题,课题组提出了优化自适应随机共振的诊断方法。介绍了自适应随机共振;提出了以信噪比为目的的优化自适应随机共振诊断法;采用正弦加噪信号的仿真实验验证了优化自适应随机共振的诊断可行性。实测信号实验结果表明:优化自适应随机共振对轴承内圈、外圈故障具备直接诊断能力;将优化自适应随机共振与小波去噪相结合可以取得滚动体良好的诊断效果。该研究为滚动轴承不同零件早期故障诊断提供了一种新思路。

关键词:滚动轴承;早期故障诊断;不同零件;自适应随机共振

中图分类号:TH133.33;TP273.2 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2020)02-0074-04

Investigation of Rolling Bearing Early Malfunction Diagnosis Based on Optimized Self-Adaptive Stochastic Resonance

ZHENG Yu¹, WANG Kai², YANG Lihong¹

(1. School of Mechanical Engineering, Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang, Shaanxi 712042, China;

2. School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Aiming at the difficulties of early malfunction diagnosis of different parts of rolling bearings, a new method of optimized self-adaptive stochastic resonance was proposed. Firstly, self-adaptive stochastic resonance (SR) was introduced. Then an optimized adaptive stochastic resonance diagnosis method with signal to noise ratio (SNR) as the optimized target was proposed. The simulation experiment of sine signal with strong noise was carried out to prove the diagnostic feasibility of optimized self-adaptive stochastic resonance. The experimental results show that the inner and outer ring malfunction have been diagnosed by optimized self-adaptive SR, and the combination of optimized adaptive stochastic resonance and wavelet de-noise can achieve good diagnosis results for rolling elements. This method provides a new idea for early malfunction diagnosis of different parts of rolling bearing.

Keywords: rolling bearing; early malfunction diagnosis; different parts; self-adaptive stochastic resonance

早期故障状态下的滚动轴承具有故障特征不明显、特征信号微弱等特点。由于轴承在运转过程中大量的环境结构信息会被引入到轴承系统形成背景噪声;同时早期故障状态下,故障振动能量在振动总能量中的占比较小,从而使得滚动轴承的早期故障难以检测和诊断^[1]。通常不同轴承零件发生故障时故障的

特征频率是不同的,因此如何在强噪声环境中检测不同频率的微弱故障特征信号是实现滚动轴承不同零件早期故障诊断的关键。

1981年被意大利气象学家 Benzi 发现了随机共振 (stochastic resonance, SR) 现象^[2],它指的是在双稳态系统中通过调整信号噪声,使得系统输出信噪比得到

收稿日期:2019-08-05;修回日期:2020-01-15

基金项目:陕西省教育厅重点实验室科学研究计划(16JS076);风电机组偏航轴承早期故障的分形诊断新方法;陕西工业职业技术学院2019院级科研计划项目(ZK19-09):滚动轴承早期故障诊断的非线性新方法。

第一作者简介:郑煜(1990),男,陕西咸阳人,硕士,助教,主要研究方向为机械系统状态检测与故障诊断。E-mail:zhengyu169@126.com

改善的一种非线性现象^[3]。随机共振在微弱小信号检测^[4-5]、图形去噪和弱信号恢复^[6-8]等领域中有诸多应用,它适用强噪声环境中检测微弱信号,因此课题组选择随机共振作为轴承不同零件早期故障诊断的基本方法。

1 自适应随机共振

随机共振可由朗之万方程(Langevin's equation, LE)描述^[8]:

$$\dot{x}(t) = -V'(x) + s(t) + \xi(t). \quad (1)$$

式中: $V(x) = -(a/2)x^2 + (b/4)x^4$ 为双势阱势函数,其中 a 与 b 为势阱结构参数; $x(t)$ 为系统输出; $s(t)$ 为输入信号,一般是周期的; $\xi(t)$ 为强度为 D 的高斯白噪声,即 $\langle \xi(t), \xi(0) \rangle = 2D\delta(t)$ 。

随机共振系统由 3 部分组成:输入-噪声-非线性系统。当三者达到某种协同的时候,系统输出信噪比会得到改善。

由绝热近似与线性响应理论,随机共振对低频信号适应性较好^[9],然而通常机械系统的故障振动信号在几十至几百赫兹,相较随机共振的适应频段高,普通随机共振往往不能适应。自适应随机共振能通过调整势阱结构参数,让随机共振主动适应信号噪声,从而使随机共振得以产生。

2 信噪比优化

为使双势阱系统与输入信号噪声拥有较高的匹配度,从而使输出信噪比达到最优,以输出信噪比为目标引入分层优化思想。如图 1 所示,将信噪比的优化问题分为 2 层,第 1 层优化参数 b ,第 2 层优化参数 a 。

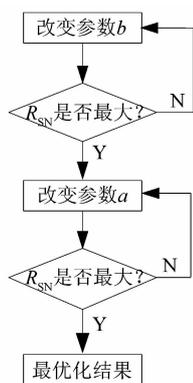


图 1 分层优化算法

Figure 1 Multilevel optimized algorithm

如图 2 所示,将混有高强度高斯白噪声的频率为 162 Hz 正弦信号输入双稳态系统,采用 4 阶龙格-库塔(Runge-Kutta)法求解,绘制输出信噪比随参数 b 和 a 的变化曲线。当 $a = 1.281, b = 0.027$ 时,输出信噪比

最优,输出信号 162 Hz 处存在峰值。

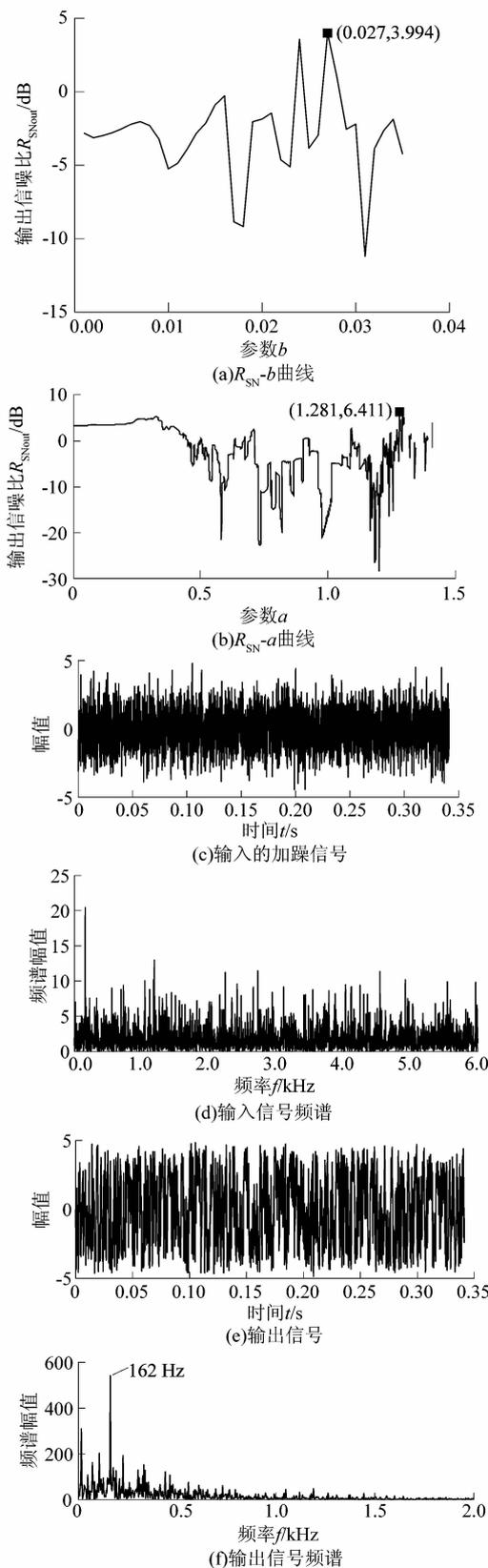


图 2 正弦信号的优化随机共振

Figure 2 Optimized stochastic resonance of sine signal

3 实测数据的诊断

3.1 实验数据

实验装置如图3所示。课题组采用的滚动轴承故障实验数据是美国凯斯西储大学轴承数据中心的探伤测试数据,实验轴承为深沟球轴承,型号6205-2RS JEM SKF^[10]。该实验通过电火花加工在该轴承上设置单点故障。振动信号通过加速度传感器采集,加速度传感器放置在电机基座非驱动端和驱动端的轴承负荷区,通过磁性底座固定在磁性轴承座上。采用16通道数字录音记录器(DAT)采集加速度传感器数据,采样频率为12 kHz。

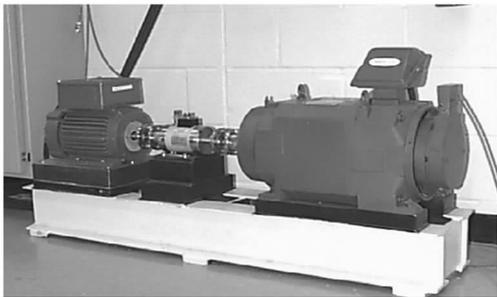


图3 实验装置

Figure 3 Experimental facility

3.2 实测数据诊断

输出信号的故障时域及频谱如图4所示。

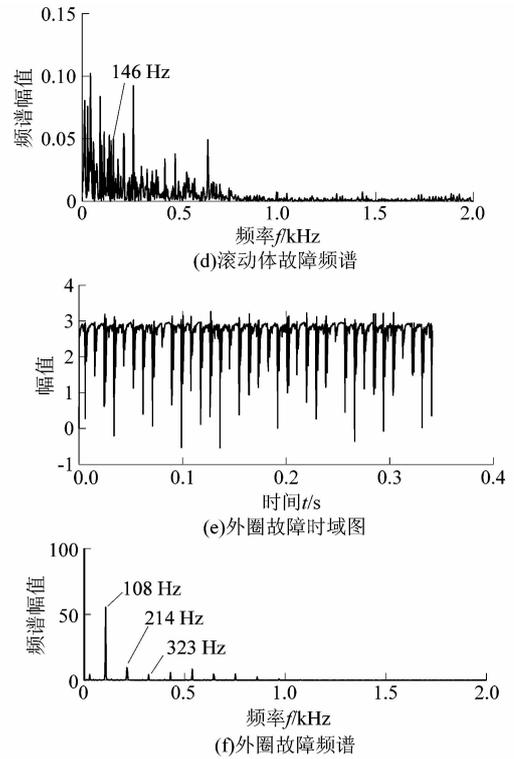
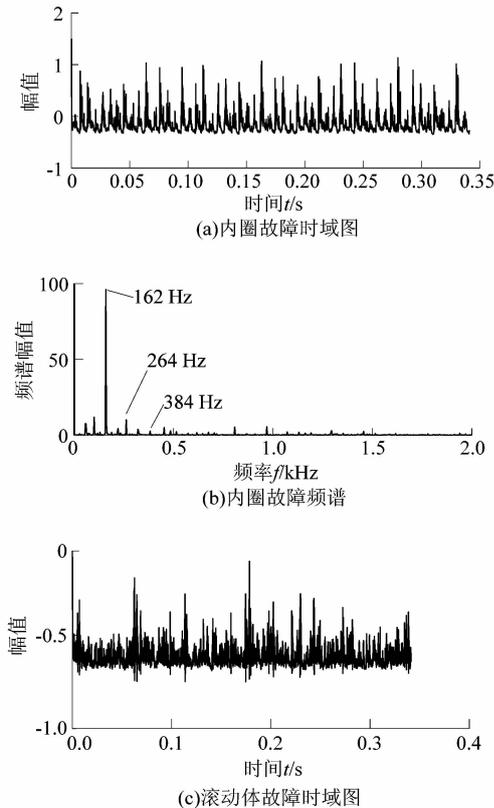


图4 输出信号的故障时域和频谱图

Figure 4 Frequency spectrum and time domain of output signal

选取点蚀凹坑直径0.18 mm的轴承振动数据作为早期故障数据。将内圈、滚动体和外圈故障数据输入双稳态系统,优化输出信噪比。

由图4可知,内圈故障下幅值谱162 Hz处存在明显峰值,同时由于径向游隙、单边载荷的调制原因,能观察到264,384 Hz处峰值;外圈故障下108 Hz频谱峰值明显。以上结果与故障通过频率理论值相吻合,直接使用自适应随机共振即可实现内圈/外圈的故障诊断。由于游隙和滚动体转动的摇摆或横滚,滚动体损伤时振动情况较内外圈复杂,故障理论频点146 Hz处峰值相对淹没在复杂成分中。

滚动体故障小波滤噪后频谱如图5所示。

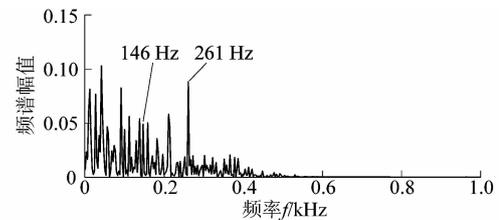


图5 滚动体故障小波滤噪后频谱

Figure 5 Frequency spectrum of ball malfunction signal after wavelet denoise

(下转第83页)