

高阶谱在液压阀故障诊断中的应用概述

□吴文兵

【内容摘要】高阶谱分析从更高阶概率结构表征随机信号,弥补了2阶统计量的缺陷,同时,理论上高阶谱能完全抑制高斯噪声,具有很强的消噪能力,因而,用高阶谱分析振动信号更容易提取故障信息。因此,高阶谱分析是处理非平稳、非高斯信号的有力工具,在故障诊断领域得到了广泛应用。

【关键词】高阶谱;液压阀;故障诊断

【基金项目】本文为福州外语外贸学院校级课题资助(编号:wk11009)项目研究成果。

【作者简介】吴文兵(1968~),男,江西临川人;福州外语外贸学院副教授;研究方向:高阶谱

一、液压阀故障现状

随着我国国民经济的快速发展,能源、交通、城市建设的发展步伐进一步加快,建设工程点多面广,作为机械化施工主要设备的工程机械起着越来越重要的作用。工程机械液压设备的性能直接影响到工程施工的质量和速度,其液压系统的故障往往引起工程机械设备整机故障的主要原因。液压阀是工程机械液压系统中使用最多的元件,它的功能是控制油液的压力、流量与流动方向以满足执行元件所需的力(或力矩)、速度与动力方向的要求,使整个液压系统能按要求协调地进行工作。所以当液压阀出现故障时,对液压系统的稳定性、精度和可靠性均具有极大的影响。因而对液压阀的故障分析就有了很重要的意义。

(三)模糊控制器的设计。

1. 确定模糊控制器的维数。确定模糊控制器的输入、输出变量,从而也就确定了模糊控制器的维数。输入变量取为系统电压偏差和偏差变化率,输出变量为PID参数 k_p 、 k_i 、 k_d 或者PID参数的增量 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 。

2. 确定各变量的取值范围。根据实际需要确定各个输入、输出变量的变化范围,然后确定它们的量化等级、量化因子、比例因子。

3. 在每个变量的量化论域内定义模糊子集。首先确定模糊子集个数,确定每个模糊子集的语言变量,然后为各语言变量选择隶属度函数。

4. 确定模糊控制规则。这实质上是将操作人员的控制经验加以总结得出的许多模糊条件语句的集合。确定模糊控制规则要遵守的原则是保证控制器的输出能够使系统输出响应的动静态性能达到最佳。

5. 求出模糊控制表。根据已知的模糊控制规则和确定的输入、输出变量求出模糊控制器的输出。这些输出值是PID参数的调整量,把它们与输入量在一个表中按一定关系列出就构成了模糊控制表。PID三个参数一般是独立调整,所以有三个模糊控制表。

6. 参考的计算。把采样得到的偏差、偏差变化率经过变量选择后,代入模糊控制规则表,得出新的PID参数,在经过PID

液压系统中,各液压元件在密闭的油路中工作,管路内油液的流动状态和元件内部零件的动作情况看不见、摸不着,因此,液压系统的故障诊断比一般机械、电气设备的故障诊断更为困难。同时,液压系统的故障表现形式各种各样,规律不一。因此诊断与排除这些故障,不仅要有专业理论知识,掌握各种液压元件、液压基本回路的功能、构造、原理;同时,还要有丰富的设计、制造、安装、使用、维护、保养方面的实践经验。在不需要丰富的实践经验情况下,基于振动信号分析的各种故障诊断方法已逐渐为人们所挖掘。

二、高阶谱简介

传统的自相关和功率谱方法只利用了信号的2阶统计量信息,对于平稳、高斯过程,已经能够反映信号的特征,但

算法的计算就得出了最后的输出量,也就是系统的控制量。

7. 结果分析。根据仿真效果或实验结果分析模糊PID的控制性能,再对量化因子和比例因子进行调整以达到理想的控制效果。

四、结语

本文设计的单相斩波调压系统充分利用了模糊控制的快速性和准确性。主电路采用交流斩波技术,利用SPWM进行调制,使系统的调压范围变广。输出电压电流易于正弦化。ARM具有较强的控制性能和丰富的片内外资源,使该调压系统具有很好的实时性和稳定性。实验证明了该调压系统的可行性,在中小功率交流调压(如电动机的调速控制)领域具有很好的应用前景。

【参考文献】

1. 林渭勳. 现代电力电子技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2011
2. 王兆安,刘进军. 电力电子技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2009,第5版
3. 蔡春渡. PID参数自整定算法研究及应用[D]. 哈尔滨工业大学, 2005
4. 郝少杰,方康玲. 基于模糊PID参数自整定的温度控制系统的研究[J]. 现代电子技术, 2011

对于实际的机械系统来讲,非线性、非平稳、非高斯过程更具有普遍性和一般性,这就需要从更高的阶次上来反映信号特征。高阶谱(Higher-Order Spectra, HOS)分析是信号处理学科的前沿性研究方向,它是针对功率谱分析在实际应用中暴露出来的种种不足而提出的。高阶谱分析从更高阶概率结构表征随机信号,弥补了2阶统计量的缺陷,同时,理论上高阶谱能完全抑制高斯噪声,具有很强的消噪能力,因而,用高阶谱分析振动信号更容易提取故障信息。因此,高阶谱分析是处理非平稳、非高斯信号的有力工具,在故障诊断领域得到了广泛应用。

谱分析在随机过程论、时间序列分析及信号处理中属于一个非常重要的理论问题,也是一个极为有用的处理工具。由维纳创建的功率谱理论,已成为谐波分析、参数估算、多种问题中不可缺少的应用工具。但因为功率谱仅包含了过程与二阶矩相当的信息量,故只有在高斯情况下,它才能给过程以完整的统计描述。相反在非高斯及非线性情况下,它对过程所能提供的信息描述,便显得极为不够了。由此,前苏联著名的工程数学家Kolmogorov提出了将高阶(大于二阶)矩作付里叶变换这一思想,并进一步发展由Shiryayev提出了高阶谱的概念。任何高斯过程的高阶累积量均为零这一事实使得高阶累积量作为数学工具在理论上可以完全抑制高斯有色噪声的影响。因此,利用高阶累积量可以自动地抑制高斯背景噪声(有色或白色)的影响,建立高斯噪声下的非高斯信号模型,提取高斯噪声中的非高斯信号(包括谐波信号)。

由三阶累积量得出的双谱包含了信号的非对称、非线性信息,可以用来描述非线性相位耦合,尤其是二次相位耦合,可以描述故障的非对称、非线性特征。目前双谱已经在各种故障诊断中得到了广泛应用。双谱的计算量很大,对于长数据的实时分析存在很大困难,并且由于双谱一般由三维图形来表示,看起来不够直观,用于故障诊断很难做到实时诊断。因此,在实际的应用中经常采用双谱三维图形的某种一维切片来分析信号的特征。1996年,张严提出了 $1\frac{1}{2}$ 维谱(即双谱对角切片)的分析方法,大大减小了计算量,用于故障诊断可以满足“实时”的要求。

三、双谱

设 $\{x(n)\}$ 为零均值k阶平稳随机过程,则该过程的k阶累积量 $c_{kx}(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{k-1})$ 定义为随机变量 $\{x(n), x(n+\tau_1), \dots, x(n+\tau_{k-1})\}$ 的k阶联合累积量,即

$$c_{kx}(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{k-1}) = \text{cum}\{x(n), x(n+\tau_1), x(n+\tau_2), \dots, x(n+\tau_{k-1})\} \quad (1)$$

常用的三阶累积量为:

$$c_{3x}(\tau_1, \tau_2) = E\{x(n)x(n+\tau_1)x(n+\tau_2)\}$$

三阶谱(又称双谱)

$$S_{3,x}(\omega_1, \omega_2) = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} c_{3,x}(\tau_1, \tau_2) \exp[-j(\omega_1\tau_1 + \omega_2\tau_2)] \quad (2)$$

建立AR模型后,双谱还可用频率特性函数形式表达:

$$B(\omega_1, \omega_2) = \gamma_{3a} H(\omega_1) H(\omega_2) H^*(\omega_1 + \omega_2) \quad (3)$$

令 $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ 可得到双谱的 $1\frac{1}{2}$ 维(对角)切片

$$BS_{1.5a}(\omega, \omega) = \gamma_{3a} H^2(\omega) H^*(2\omega) \quad (4)$$

四、高阶谱分析在故障诊断中的应用概况

近年来,高阶谱分析技术逐渐引起了人们广泛的兴趣,这是由于高阶谱(HOS)是处理非最小相位系统和非高斯信号的有力工具,其在理论研究和应用方面都取得了很大进展。

高阶谱的概念是Wiener在1958年提出的,定义为高阶累积量的多维傅立叶变换,W. B. COLLIS和P. R. WHITE详细分析了双谱和三谱的特点,继1978年第一部“现代谱分析”论文集出版后,1981年凯(Kay)和马布尔(Marple)分析比较了各种谱估计方法,发表了有关现代谱分析的长篇综述论文。VANIA A等人对高阶谱分析理论进行了综合性的分析与报道。

Murray A.等人对感应电机的振动信号进行双谱分析,提取了故障特征信息。Fackrell J. W. A.等人对周期含噪声信号的双相干谱进行了细致的分析,并将其应用到机械故障诊断中。可见,基于HOS的机械状态监测和故障诊断研究,在国外已经开始受到重视,而且成果也不断出现。国内对于高阶谱分析技术的研究虽然相对较晚,但是也取得了一定的成果。李允公等人将HOS用于旋转机械故障的研究,准确地提取了各种故障特征。李凌均等人提出了矢量双谱分析的机械故障诊断法,取得了很好的效果。孙晖等人针对滚动轴承故障识别问题,提出了基于共振解调理论和高阶谱分析相结合的新方法,利用对角切片双谱来识别滚动轴承的故障模式。邵忍平等将高阶累积量与其它方法相结合进行齿轮损伤检测研究。将高阶谱分析技术用于故障诊断,其动机与出发点主要有两点:高斯过程的HOS等于零,因此,当非高斯信号淹没在高斯白噪声中时,利用高阶谱可以大大降低噪声的干扰;高阶谱保存了频率间的相位信息,能够描述二次相位耦合(Quadratic Phase Coupling—QPC)。非平稳、非线性、非高斯处理方法的特点及存在问题综合以上论述,非平稳、非线性、非高斯信号处理方法较传统的谱分析方法更适于柴油机非稳态振动信号的分析。时频分析方法的优点是时频结构表达特征直观,具有良好的时频聚集性,但是容易受到交叉项的影响;小波变换能将非平稳信号分解到不同的频带上,但其时频表达不够直观,分解不具有自适应性,表示信号时容易出现多余信号;HHT信号分析方法,无需采用先验知识,基函数本身可以自适应地从原信号中分解而得,它是后验、自适应的。但也有文献证明这种分解某些情况下是脆弱的,容易受到噪声的影响;分形理论对分辨非线性信号特征具有良好效果,但对于柴油机振动信号这样的复杂信号,容易受到噪声干扰;高阶统计量对高斯噪声有良好抑制作用,但其物理解释以及故障特征的自动提取尚需展开进一步研究;高阶循环统计量虽然兼具了循环平稳和高阶统计理论的优势,但其过分庞大的运算量、漫长的运行时间,使其实际应用受到限制。可以看出,每种方法均有其适用的范围、优势和局限,采用任何一种单一的方法,都无法很好描述信号的特征,因此采用多种方法结合、实现优势互补是故障诊断发展的趋势。

【参考文献】

1. 杨江天,徐金梧. 旋转机械故障的双相干谱特征及其识别[J]. 机械工程学报,2000
2. 李中原. 旋转机械双谱分析及故障诊断应用研究[D]. 郑州大学,2006