

基于 LabVIEW 谱分析法求转轴扭矩的原理研究

李娜娜, 吴伯农

(北方工业大学 机电工程学院, 北京 100144)

摘要:借助激光读出头工作原理和 LabVIEW 巧妙结合的方式, 对转轴扭矩的测量原理进行了研究。通过激光读出头测得反应转轴扭矩信息的两路信号, 将转轴扭矩的测量转变为对两路信号相位差的求解, 再利用 LabVIEW 中的谱分析法间接求解, 得到转轴的扭矩值。

关键词:激光读出头; 扭矩测量; LabVIEW; 频谱分析

中图分类号: TH823.4

文献标识码: A

Research on the principle of torque shaft based on LabVIEW spectral analysis

LI Na Na, WU Bo Nong

(College of Mechanical Electrical and Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: This article studies the measuring principle of shaft torque by working principle of optical pickup and clever combination of LabVIEW. Measure the two information signals response of shaft torque by optical pickup. Shaft torque measurement will be changed into two signals with different phases. Then indirectly to obtain the shaft torque by using spectral analysis in LabVIEW. It is a new measurement which including optical, mechanical and virtual instruments.

Key words: optical pickup; torque measurement; LabVIEW; spectral analysis

测量转轴扭矩的基本方法有平衡力法、能量转换法和传递法。平衡力法是利用平衡扭矩去平衡被测扭矩, 从而求得扭矩的方法; 能量转换法是根据能量守恒定律, 通过测量其他与扭矩有关的能量系数来确定被测扭矩的大小的一种方法; 传递法是根据弹性元件在传递扭矩时所产生物理参数的变化(变形、应力或应变)来测量扭矩的方法。平衡力法只适用于匀速和静态的情况; 能量法在间接测量时因素太多, 而且误差大。这两种方法都不适合动态测量。在工程实践中, 传统转轴扭矩的测量系统比较繁琐, 导致测量的精度、成本等受到较大的影响^[1]。

伴随着微电子技术、计算机技术和网络技术的迅速发展, 测量仪器不断进步, 依次出现了数字化仪器、智能仪器和虚拟仪器。虚拟仪器是测控技术与计算机技术相结合的产物, 它由计算机、相应的硬件(如数据采集卡、输入输出卡等)和专用软件(如 LabVIEW)构成。

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 是一种图形化的编程语言, 被工业界、学术界和研究实验室所广泛地接受, 被视为一个标准的数据采集和仪器控制软件, 主要用于仪器控制、数据采集、数据分析等

《微型机与应用》2009 年第 22 期

领域。它与 C、Basic、Java 等传统语言最大的区别在于传统编程语言用文本语言编程, 而 LabVIEW 使用图形语言(各种图标、图形符号、连线等), 以框图的形式编写程序^[2]。

本文阐述一种借助光电方式与 LabVIEW 相结合进行转轴扭矩测量的方法研究, 在用光电方式测得信号后, 采用谱分析法求取信号相位差, 进而求得转轴扭矩。由于采用光电方式, 具有不介入、非接触、抗电磁干扰、受温度等环境因素干扰小等优点。另外, 基于 LabVIEW 为软件平台, 又具有高效率、低成本、操作简便等优势。因此, 具有较高的理论意义和实际应用价值。

1 信号测量方案

1.1 测量方案

在被测转轴相距为 L 的两个截面 A、B 处, 刻制分布均匀的 n 条条纹, 如图 1 所示。

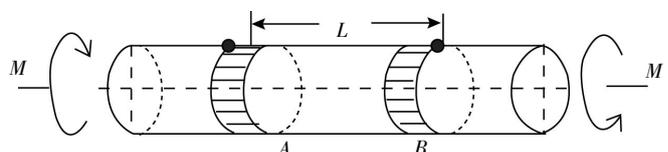


图 1 刻制条纹

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 53

技术与方法

Technique and Method

在两截面处,放置两个激光读出头,如图2所示。由于,激光在条纹与非条纹处反射强度不同,因此,激光读出头中的光检测器将会接收到强弱有别的光信号,随之转换成电信号。当转轴旋转的同时,激光读出头将会接收到连续的电信号,电信号波形示意图如图3所示。

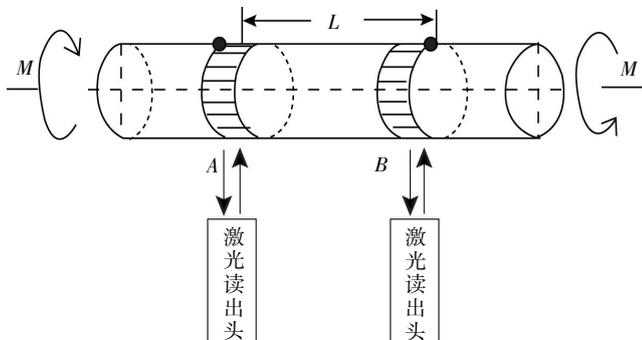


图2 激光头安装位置示意图

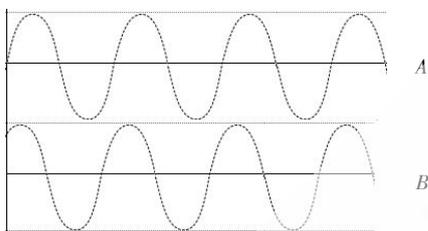


图3 电信号波形示意图

由于扭矩的存在,因此测得的两路信号将有一个相位的差值,这个相位差对应转轴扭转变形后所产生的扭转角。

由弹性转轴的静力学几何关系,得: $M = \frac{GI_p \theta}{L}$

式中, M 为弹性转轴两测量端面的扭矩; G 为弹性转轴的剪切弹性模量,是与转轴材料有关的常量; I_p 为弹性转轴的截面极惯性矩,是与转轴截面形状、尺寸有关的常量; L 为弹性转轴两测量截面的距离; θ 为两截面相对扭转角。

这样,只要测得两列信号的相位差,就可求出转轴的扭矩值。

1.2 激光发射接收的光路原理

激光发射接收的具体光路图如图4所示。激光二极管发出低功率的激光束,经准直透镜准直为平行光,照到半透镜上,经半透镜的反射,滤出平行光束,阻止垂直极化的光束,经半透镜反射的光束经反射镜和聚焦透镜,使光点照到条纹上,条纹把光反射回来,经聚焦透镜→反射镜→穿过半透镜→经圆柱面透镜聚焦后→照到光电检测器。

从激光二极管发射出来的光束会有一个 $10^\circ \sim 45^\circ$ 的发射角,放置一个准直透镜,可以将发射光束矫正为平行光束,便于小光斑聚焦。由于光路的可逆性,经过条纹反射后的光束会沿原路返回到激光二极管,这样不能检测到反应条纹信息的光束。放置一个半透镜,可以将反射光束一部分进行反射,一部分进行透镜,便于光检测器接收光束。光检测器是一种光敏元件,它能将被测物体反射的光转换成与之对应的强弱有别的电流信号,送后续的信号放大与处理

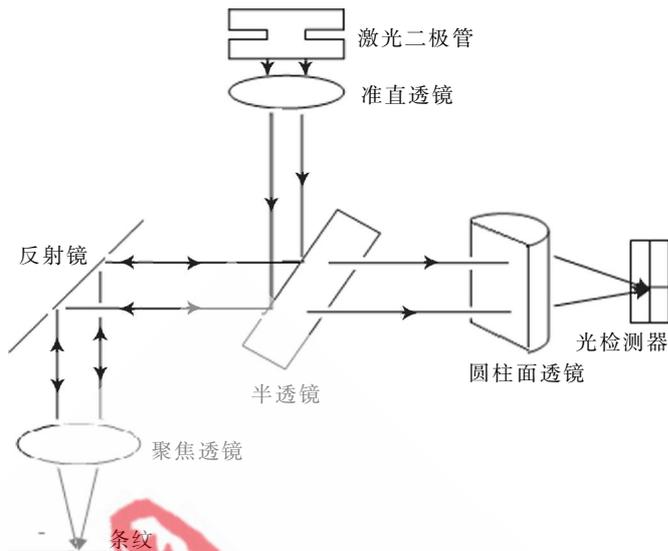


图4 激光发射接收的光路图

等电路获得信号波形。

光路部分的实现采用激光读出头,因为光头内部集成有需要的光路,并且光头小巧,有助于实现整套设备的小型化。激光读出头主要由激光发射器、光路系统(又叫激光枪)、光接收器及固定支架4部分组成^[1]。激光二极管产生激光束,经光路系统后得到极细的光束照射到被测物体上,被测物体再将光束反射回到光头的光检测器上,光检测器将光信号转变成电信号后,送后续电路处理。

2 相位差测量方案

基于软件的相位差测量方法有过零检测法、频谱分析法、互相关法。本文用谱分析法求取相位差。

频谱分析法是通过求取周期信号的频域特性(主要是相频特性),然后取两信号相频特性曲线中对应信号各频率分量的相位值,其差值即为所求相位差。理论上,该方法有很好的选频特性,对谐波干扰抑制性好。实际处理中,通常用快速傅立叶变换(FFT)来进行频谱分析。

2.1 FFT 的计算过程

在有限区间 $(t, t+T)$ 内绝对可积的任一周期函数 $x(t)$,其傅立叶级数展开式为:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \sin n\Omega t + \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos n\Omega t = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} x_n \sin(n\Omega t + \varphi_n)$$

同时, $x(t)$ 可以表示为: $x(t) = x_0 + \sum_{n=1}^{\infty} x_n \sin(n\Omega t + \varphi_n)$

其中, $x_0 = \frac{a_0}{2}$, a_n 、 b_n 为傅里叶系数且分别表示为:

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cos n\Omega t dt = x_n \cos \varphi_n$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \sin n\Omega t dt = x_n \sin \varphi_n$$

$$x_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \tan \varphi_n = \frac{a_n}{b_n}, \varphi_n = \arctan \frac{a_n}{b_n}$$

《微型机与应用》2009年第22期

技术与方法

Technique and Method

x_n 为 n 次谐波的幅值, φ_n 为 n 次谐波的初相位, 取两列信号的基波相位做差, 即可得到包含有扭矩信号的两列信号的相位差为: $\varphi = \varphi_{11} - \varphi_{21}$ [4]。

2.2 LabVIEW 中的实现方法

由 FFT 的原理可以知道, 经过 FFT 运算, 采集获得的序列变成复数, 有实部和虚部。而实部和虚部的平方再开方对应的是幅值, 虚部除以实部再取反正切对应的就是相位。这样的幅值和相位有若干个, 且和采样点频率有关系, 但是每个点上的幅值和相位信息是相对应的。在 LabVIEW 中有进行信号频谱测试的 vi, 如图 5 所示, 可以直接分析出信号的幅值和相位信息。对两个信号可以分别得到相关信息, 然后做差。

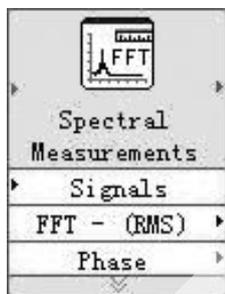


图 5 频谱测试 vi

2.3 相位差测量

用 NI 公司的数据采集卡将信号采集进来, 根据实验所需的分辨率、采样率 (A/D 转换位数) 通道数等参数选取具体型号的数据采集卡。用如图 6 所示的流程图进行设计, 通过频谱分析法求取两路信号的相位差。本文从原型入手, 用

LabVIEW 中的信号发生器产生的两路模拟正弦信号进行设计, 完成转轴扭矩的原理研究。当进行实际信号测试时, 只需将信号发生部分改成实际采集信号, 即可求得实际采集的两路信号的相位差。

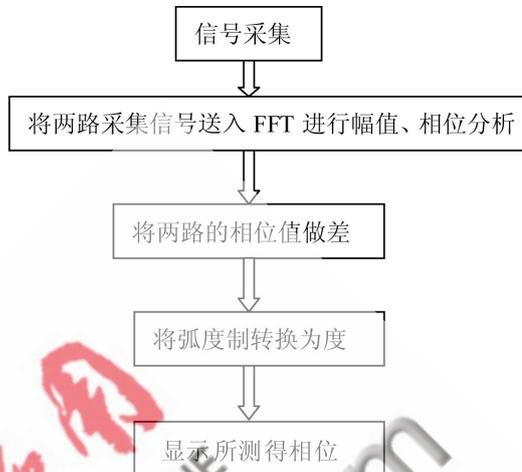


图 6 求取相位差的设计流程图

一个 LabVIEW 程序包括 3 个主要部分: 前面板、程序框图、图标/接线端口。前面板是 LabVIEW 程序交互式图形化用户界面, 用于设置用户输入和显示程序输出, 目的是仿真真实意义的前面板; 框图程序则是利用图形语言对前面板上的控制量和指标量进行控制; 图标/接线端口用于把 LabVIEW 程序定义成一个子程序, 以便在其他程序中加以调用, 这使得 LabVIEW 得以实现层次化、模块化编程 [2]。

前面板设计:

(1) 从控件选板上选择 6 个数值输入控件, 包括: 采样点

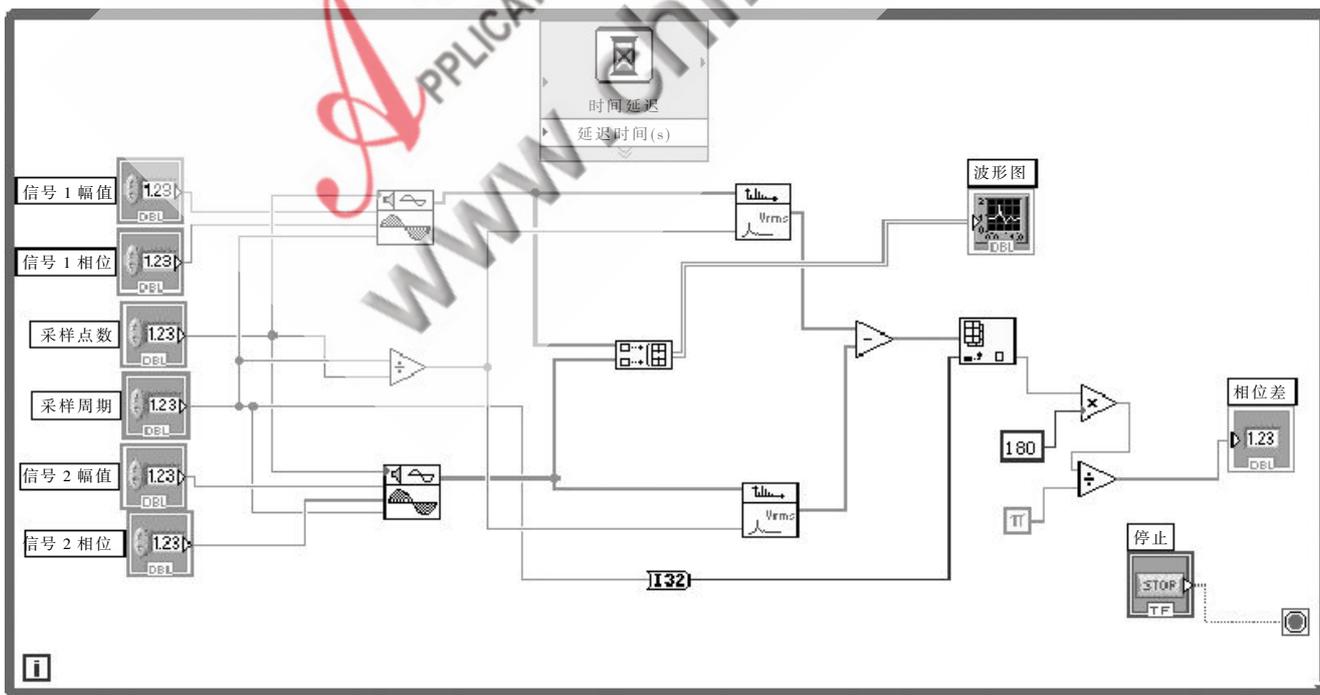


图 7 相位差测量前面板

技术与方法

Technique and Method

数、采样周期、信号 1 幅值、信号 1 初相位、信号 2 幅值、信号 2 初相位；

(2)从控件选板上选择 1 个数值输出控件,即两路信号的相位差；

(3)从空间选板上的 Express 中选择 1 个停止按钮,用于随时结束程序的运行；

(4)从控制选板的 Express 中选取 1 个图形显示控件,可将两路信号波形显示出来。

程序框图设计：

(1)从函数选板上的信号处理中选取 2 个正弦信号发生器 v_i , 2 个幅值谱和相位谱 v_i ；

(2)从函数选板上的编程中选取 1 个索引数组 v_i , 1 个创建数组 v_i ；

(3)从函数选板上的编程中选取所需的数值 v_i ；

(4)从函数选板上的编程中选取 while 循环结构,使其将所有 v_i 均包含在内,达到循环求取的功能；

(5)按图 7 所示进行连线即可。

连线完毕,将采样点数设为 1 024,采样周期设为 3,信号 1、2 幅值设为 3,信号 1 初相位设为 0° ,信号 2 初相位设为 90° 。运行后,如图 8 所示。

需要特别说明的是,由于频谱分析法是以余弦信号作为标准,因此实际测得两路信号的相位差为 -90° 。

借助于激光读出头的工作原理,将转轴扭矩的测量转换为求取两路信号的相位差,运用 LabVIEW 虚拟仪器平台,将

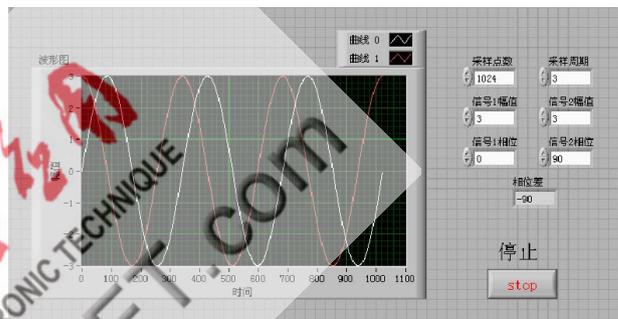


图 8 相位差测量程序框图

扭矩信号的测量简易化。另外,利用 LabVIEW 虚拟仪器平台实现硬件与计算机软件的有效结合,用已有的频谱分析 v_i 求取相位差,开发出了一种转轴扭矩的测量系统,将光电、机械、信号处理有机地结合在一起,为采用非接触的方式测量转轴扭矩提供了一种新的研究方向。

参考文献

- [1] 董全林,高海宾,刘彬,等.利用弧形光栅尺测量大型转轴扭矩的原理研究[J].光学技术,2003,29(2):204-207.
- [2] 王永高,薛冬新,宋希庚.基于 LabVIEW 的相位差法测量发动机轴功率[J].微计算机信息,2007,23(1):76-77.
- [3] 关林风,李爱华,姚行中,等.光盘驱动器原理和维修技术[M].北京:科学出版社,2001.
- [4] 程佩青.数字信号处理教程[M].北京:清华大学出版社,2001.