

文章编号:1001-893X(2010)05-0117-04

全相位 FFT 算法在机械传动测试系统中的应用*

秦小屿,陈卫泽

(西华大学 机械工程与自动化学院,成都 610039)

摘要:为了提高机械传动系统的测试精度和实时效果,构建了基于 DSP 及全相位 FFT 算法的机械传动测试系统,该系统由以 DSP 为核心的数据采集及处理的硬件结构和以全相位 FFT 算法为核心的数字信号处理软件组成。实验证明该系统具有抗干扰能力强、测量精度高、实时性好等特点。

关键词:机械传动测试系统;数字信号处理;全相位 FFT;测量精度

中图分类号:TP274 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.05.026

Application of All-phase FFT in Mechanical Transmission Test System

QIN Xiao-yu , CHEN Wei-ze

(School of Mechanical Engineering and Automation, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: In order to improve the test precision and real-time effect of mechanical transmission system, the mechanical transmission test system is designed based on DSP and all-phase FFT. The system consists of the hardware for data acquisition and processing with DSP and the software with all-phase FFT algorithm for digital signal processing. The experiments have proved that the system has such advantage as strong anti-interference ability, high accuracy, and good real-time effect.

Key words: mechanical transmission test system; DSP; all-phase FFT; measurement precision

1 引言

机械传动是应用最为普遍的传动方式,机械传动的性能对于机械装置起着重要的作用,因此对机械传动系统的测试也提出了更高的要求。传统的机械传动测试系统主要采用以通用单片机为核心的数据采集处理系统,但其硬件的模拟滤波不能很好地滤出干扰,影响了测试系统的精度。为此,本文提出了一种基于 DSP 技术及全相位 FFT 算法的机械传动测试系统,在实验中取得了较好的效果。

2 机械传动测试系统的基本原理

该机械传动测试系统的基本原理如图 1 所示。

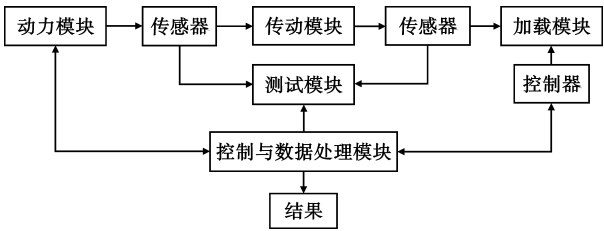


图 1 测试系统的基本原理
Fig.1 Basic principle of the test system

在机械传动测试系统中,传感器采用的是磁电式相位差型转矩/转速传感器,其工作原理如图 2 所示。

转矩/转速传感器的基本原理是:当弹性轴受扭时,将产生扭转变形,这时两信号齿轮之间将产生相

* 收稿日期:2009-12-14;修回日期:2010-03-16

对于初始安装位置的相位差,该相位差将转换为两组交流电信号的相位差。由于两组交流电信号的频率相同且与弹性轴的转速成正比,而相位差的大小又与被测转矩的大小成正比,所以通过信号频率和相位差可以分别测出转速和转矩。在弹性变形范围内,有如下关系:

$$M = \frac{\Delta\varphi \cdot \pi D^4 G}{32 ZL} \tag{1}$$

式中, M 为转矩(N·m), $\Delta\varphi$ 为两信号的相位差(rad), D 为弹性轴直径(m), G 为弹性轴剪切弹性模量(Pa), Z 为信号齿轮齿数, L 为弹性轴工作长度(m)。

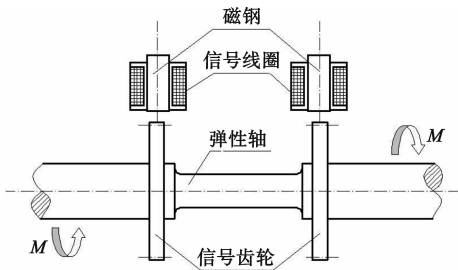


图2 转矩/转速传感器工作原理
Fig.2 Operating principle of the torque/rotational sensor

根据传感器工作原理,有:

$$f = (n/60) \cdot Z \tag{2}$$

式中, n 为弹性轴转速(r/min), f 为传感器输出信号频率(Hz)。

当转矩和转速都测出来以后,该被测机械传动系统的传递功率和传动效率就可以计算出来。

3 测试装置系统总体设计

该测试装置采用 JC2B 型磁电式相位差型转矩/转速传感器进行转矩、转速测量,应用 DSP 对信号进行采样与处理,可分为 5 个大部分:磁电相位差式转矩/转速传感器输出信号调理部分;传感器输出信号频率检测部分;信号数据处理及测量计算部分;键盘接口及显示部分;通过串口与上位机通信实现数据存储及进一步处理部分。其总体结构如图 3 所示。

在系统中使用的 DSP 是一种独特的微处理器,是以数字信号来处理大量信息的器件。它不仅具有可编程性,还具有强大的数据处理能力和高运行速度,其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序。

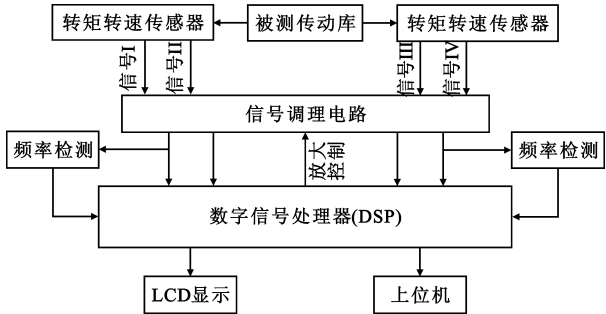


图3 测试系统总体结构
Fig.3 The structure of the test system

4 全相位 FFT 算法

从数字信号处理的观点来看,离散数据的存储实际上是对信号进行截断的过程,而截断会使信号处理(如数字滤波、谱分析、信号重构等)性能下降。传统的处理采用离散傅里叶变换(DFT)和快速傅里叶变换(FFT),它们都不能很好地解决信号处理性能等问题。因此,该测试系统采用了全相位 FFT 算法,全相位处理方法可解决由数据截断引起的信号处理性能问题。

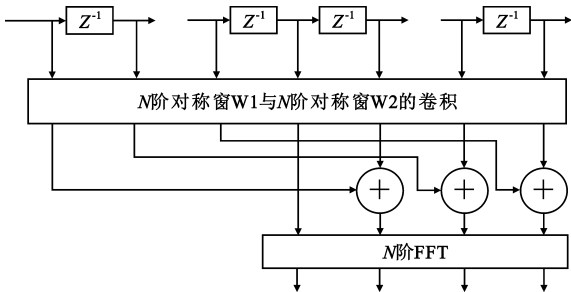


图4 全相位频谱分析基本框架
Fig.4 Basic frame of all-phase spectrum analysis

全相位 FFT 相位测量算法具有如下优点:

- (1)基于全相位 FFT 的相位差测量法无需附加频率估计和频谱校正措施,直接测出峰值谱线的相位值即可得到;
- (2)精度较高,适合于精密测量场合。全相位 FFT 具有比传统 FFT 更优良的抑制频谱泄漏性质,避开了频率估计和频谱校正措施,频率估计误差不会带入到相位测量中;
- (3)计算量小,有利于实时实现。全相位 FFT 基本流程省去了 $N - 1$ 次 FFT 计算,因而计算量比传统方法小,便于实时实现。

根据本测试系统需要完成的功能进行程序总体方案的设计,程序流程如图 5 所示。

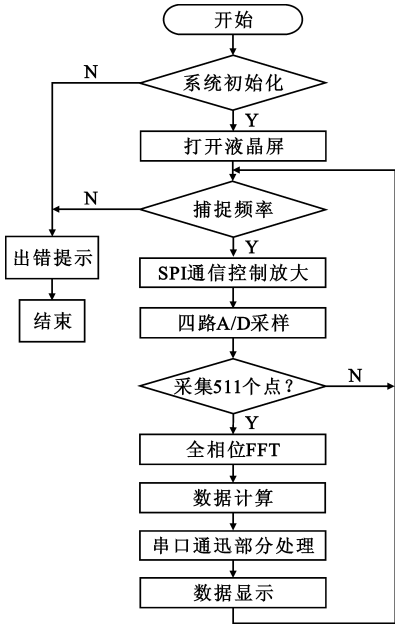


图 5 程序流程图
Fig.5 Program flowchart

5 性能分析

应用前述测试原理、设备及程序,在 ZJS50 机械传动试验台上,对选定的机械传动装置进行了测试实验。该系统选用美国德州仪器公司生产的 TMS320LF2407A 为数字信号处理器(DSP),选用湘仪动力测试仪器厂生产的 JC2B 型磁电式相位差型转矩转速传感器采集信号,其额定扭矩为1 000 N·m,转速范围是 0 ~ 4 000 r/min,采用标准扭矩加载装置对测量系统进行标定,在标定的测试中,使用 10 个100 N 的标准砝码,输出轴即承受100 N·m的标准扭矩载荷,在转速1 500 r/min时,测得的实验数据如表 1 所示。

表 1 转矩测量数据表($n = 1\,500\text{ r/min}$)		
Table 1 Torque measurement date($n = 1\,500\text{ r/min}$)		
标准扭矩 /(N·m)	正向加载 仪器示值/(N·m)	反向加载 仪器示值/(N·m)
0	0	0
100	99.9	100.1
200	199.8	200.1
300	300.2	299.8
400	399.7	400.4
500	500.5	499.6
600	599.2	600.5
700	700.6	699.2
800	799.4	800.8
900	900.8	899.3
1 000	999.2	1 000.6

由表 1 可知,额定转速为1 500 r/min时,测量最大相对误差为

$$\frac{| \text{仪器示值} - \text{标准扭矩值} |}{\text{标准扭矩值}} \times 100\% = 0.13\%$$

这表明转矩测量具有较高的精度。

额定扭矩为 500 N·m时,改变电机转速在 0 ~ 2 000 r/min之间变化,所测数据如表 2 所示。

表 2 转速测量数据表($M = 500\text{ N}\cdot\text{m}$)		
Table 2 Rotational measurement date($M = 500\text{ N}\cdot\text{m}$)		
标准扭矩 /(N·m)	正向 误差/(r/min)	反向加载 误差/(r/min)
0	0	0
200	0	0
400	0	0
600	- 1	1
800	0	- 1
1 000	- 1	0
1 200	0	1
1 400	- 1	2
1 600	2	- 1
1 800	- 1	2
2 000	1	- 2

由表 2 可知,额定扭矩为 500 N·m时, 0 ~ 2 000 r/min内转速变化最大绝对误差为2 r/min,故实现了精确测量。

6 结束语

应用 DSP 技术及全相位 FFT 算法建立的机械传动测试系统,是我们在实验设备改进方面的一次探索,特别是将全相位 FFT 算法应用在机械传动的测试中。在实际测试中,该系统与原来的系统相比,不仅测试精度大大提高,而且还具有快速的数据处理能力和较强的抗干扰能力,动态实时测量的效果更好地满足了测试要求。但是该系统还可以在硬件设计(或选择)以及全相位测相算法上进一步完善,如采用加窗全相位测相算法,增强系统抗干扰功能,提高系统的稳定性和可靠性。

参考文献:

[1] 江思敏,刘畅. TMS320LF240xDSP 硬件开发教程[M]. 北京:机械工业出版社, 2003.
JIANG Si-min, LIU Chang. TMS320LF240xDSP hardware ex-

ploiture tutorial [M]. Beijing: China Machine Press, 2003. (in Chinese)

[2] 王兆华, 黄翔东, 杨尉. 全相位 FFT 相位测量法[J]. 世界科技研究与发展, 2007, 29(4): 28 - 32.
WANG Zhao-hua, HUANG Xiang-dong, YANG Wei. The Measuring Phase Method of All-phase FFT [J]. World Science-Technology Research & Development, 2007, 29(4): 28 - 32. (in Chinese)

[3] 刘彦, 马咏梅. 多功能机械传动组合试验台的研制[J]. 中国测试技术, 2003(6): 23 - 24.
LIU Yan, MA Yong-mei. Development of multi-function Mechanical Transmission compounding-Test System [J]. China Measurement Technology, 2003(6): 23 - 24. (in Chinese)

[4] 邹卫华, 师奕兵, 王志刚. 基于 DSP 的相位差测量系统设计[J]. 测控技术, 2007, 26(5): 76 - 78.
ZOU Wei-hua, SHI Yi-bing, WANG Zhi-gang. Design of Measurement System for Phase Difference Based on DSP [J]. Measure & Control Technology, 2007, 26(5): 76 - 78. (in Chinese)

[5] Texas Instruments. TMS320F/C24x DSP Controllers Reference Guide CPU and Instruction Set[Z]. Texas: Texas Instruments, 1999.

[6] 王兆华, 黄翔东. 数字信号全相位谱分析与滤波技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
WANG Zhao-hua, HUANG Xiang-dong. All-Phase Spectral Analysis and Filtering of Digital Signal [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2009. (in Chinese)

作者简介:

秦小屿(1959 -), 男, 重庆人, 副教授、硕士生导师, 主要从事机械设计及实验方面的研究;

QIN Xiao-yu (male) was born in Chongqing, in 1959. He is now an associate professor and also the supervisor of graduate students. His research concerns machine design & experiment.

Email: qxy01@126.com

陈卫泽(1964 -), 男, 重庆人, 实验师, 主要从事机械实验教学 and 实验管理工作。

CHEN Wei-ze (male) was born in Chongqing, in 1964. He is now an experiment engineer. He is mainly engaged in the machine experiment teaching and experiment management.

《电讯技术动态》征稿启事

《电讯技术动态》(月刊)创刊于 1972 年, 是由中国西南电子技术研究所主办的内部刊物, 主要报道与下述专业领域相关的国际厂商科研动态; 外军先进装备研发、试验和使用情况; 学术交流和展会信息。本着服务于国内军工科研的目的, 提供国外军事技术与装备的最新发展动态, 服务于研发生产为宗旨的办刊原则, 将《电讯技术动态》发展成国内以军工电子为主的行业动态是我们长期不懈的目标。为促进《电讯技术动态》更好地交流与发展, 热诚欢迎业内学者、专家及科研人员踊跃投稿。

投稿领域:

- | | | |
|--------|------------|---------|
| • 航空电子 | • 通 信 | • 飞行器测控 |
| • 卫星应用 | • 情报、侦察与监视 | • 敌我识别 |

来稿要求及注意事项:

- (1) 文稿务必主题明确, 论述合理, 逻辑严谨, 数据可靠, 叙述清楚, 文字精炼;
- (2) 文稿一般不应超过 4 000 字, 尽量提供 word 文档, 对于文中的图片请以附件形式添加发送至指定投稿邮箱;
- (3) 投稿务必署名, 且对于译稿标明原文详细出处;
- (4) 请务必采用 Email 投稿, 投稿邮箱: dianxundongtai@163.com。来稿请注明作者详细通信地址、联系电话和有效电子邮箱;
- (5) 本刊编辑部将在 15 天之内对来稿作出取舍, 可通过电话或电子邮件查询稿件审查情况, 如逾期未收到处理意见, 作者有权对稿件另行处理。稿件一经刊用, 本刊将酌情从优支付稿酬并赠送当期样刊。请勿一稿多投, 否则后果自负。

电 话: (028)87555677 87555634

传 真: (028)87538378