

文章编号:1008-0171(2009)03-0017-04

基于 MSP430 单片机的旋转机械转速测量

江文鑫^{1,2}, 汪建晓¹

(1. 佛山科学技术学院 机电工程系, 广东 佛山 528000;

2. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641)

摘要:介绍测量旋转机械转速的常用方法,分析各种方法的原理和测量误差。利用基于 MSP430 单片机的硬件测试系统,对周期测速法进行改进,实现了较高精度、较宽范围的转速测量。

关键词:转速;测量;单片机

中图分类号:TH824.1

文献标识码:A

在工程实践中,经常需要测量旋转机械的转速。对于一些场合,不仅需要精确的转速测量,且要求实时性、可观性^[1]。例如在转子动平衡检测过程中,转速测量的准确度将直接的影响到对振动信号的采集,进而影响到转子振动幅值和初相位值的准确提取。

随着大规模集成电路技术的高速发展,微处理器在工业中得到广泛的应用,单片机引入转速的测量可取得显著的效果^[2]。TI 公司的 16 位 MSP430 系列单片机具有低电压、超低功耗、强大的处理能力、高性能模拟技术、丰富的片内外设及其多样性、系统工作稳定等性能^[3],在工业控制中得到了广泛应用。

1 转速测量的基本原理和误差分析

目前的转速测量以数字式为主,通常采用光电传感器、编码器等作为检测元件,得到脉冲信号。由脉冲信号测量转速的方法主要有频率法、周期法和综合法等^[4]。

1.1 频率法

频率法是在设定的定时时间 $T(s)$ 内读取脉冲数 M_1 ,由 M_1/T 计算出转速。假设转子转动一圈,发出的脉冲数为 P ,则转子的转速 $n(r/min)$ 可表示为

$$n = \frac{60M_1}{TP} \quad (1)$$

在此方法中,由于采样时间 T 和脉冲的发出不能保持同步,因此,将有可能产生一个脉冲的量化误差,故转速的变化如下

$$n' = \frac{60(M_1 \pm 1)}{TP} = \frac{60M_1}{TP} \pm \frac{60}{TP} = n \pm \Delta n, \quad (2)$$

其相对误差为

$$\delta = \frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{M_1} = \frac{60}{TP} \times \frac{1}{n} \quad (3)$$

由式(3)可知, δ 随着 n 的增大而减少。可见,此测量方法适用于高速测量,转速越低,误差越大。

收稿日期:2008-12-30

作者简介:江文鑫(1983-),男,广东揭阳人,华南理工大学与佛山科学技术学院联合培养硕士研究生。

汪建晓(1964-),男,河北蠡县人,佛山科学技术学院教授,博士,硕士生导师。

1.2 周期法

周期法是通过测量相邻的两个脉冲的时间间隔 T_P (s) 而得到转速的。设单片机的时基频率为 f (Hz), 计数值为 M_2 , P 依然是转子转动一周所发出的脉冲数目, 则转速 n (r/min) 可以表示为

$$n = \frac{60}{T_P P} = \frac{60f}{M_2 P}. \quad (4)$$

同理, M_2 会产生 1 个脉冲的量化误差, 故转速的变化为

$$n' = \frac{60f}{(M_2 \pm 1)P} = \frac{60f(M_2 \pm 1)}{PM_2(M_2 \pm 1)} \mp \frac{60f}{PM_2(M_2 \pm 1)} = n \pm \Delta n, \quad (5)$$

其相对误差为

$$\delta = \frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{M_2 \pm 1} = \frac{1}{\frac{60f}{P} \times \frac{1}{n} \pm 1}. \quad (6)$$

由式(6)可知, δ 随着 n 的减少而减少。可见, 此测量方法适合于低速测量, 转速越高, 误差越大。

1.3 综合法

综合法的主要特点是: 不固定定时时间, 设法使脉冲和 T 同步。测量开始后, 当第一个脉冲的上升沿(或下降沿)到来时, 启动一个计数器对脉冲数开始计数, 同时启动一个定时器对时基脉冲计数定时, 当定时时间一到, 脉冲计数停止计数, 这段定时时间为 T_1 , 同时再启动一个定时器对时基脉冲计数定时, 直至再来一个脉冲的上升沿(或下降沿), 则停止计数定时, 这段定时时间为 T_2 。

设 2 次时基脉冲的数目分别为 M_3 和 M_4 , 时基频率为 f , 故总的定时时间为

$$T = T_1 + T_2 = \frac{M_3 + M_4}{f}, \quad (7)$$

将式(7)代入式(1)得

$$n = \frac{60f}{P} \times \frac{M_1}{M_3 + M_4}. \quad (8)$$

同理, 这里的 M_4 会产生 1 个量化误差, 故得到转速的变化为

$$n' = \frac{60fM_1}{P(M_3 + M_4 \pm 1) \times P} = \frac{60fM_1}{P(M_3 + M_4)} \times \frac{60f \times M_1}{P(M_3 + M_4)(M_3 + M_4 \pm 1)} = n \pm \Delta n, \quad (9)$$

其相对误差为

$$\delta = \frac{\Delta n}{n} = \frac{1}{M_3 + M_4 \pm 1}. \quad (10)$$

由式(8)得

$$M_3 + M_4 = \frac{60f \times M_1}{nP}, \quad (11)$$

由式(1)得

$$M_1 = \frac{M_3 P n}{60f}. \quad (12)$$

将式(11)、(12)代入式(10)得

$$\delta = \frac{1}{M_3 \pm 1}. \quad (13)$$

由式(13)可知, 这种测试方法的相对误差与转速无关, 故可以适应于各种转速的测量。

2 硬件设计

2.1 转速测量算法

本测试系统采用周期法测量转速, 当时基频率 f 一定时, 随着转速的增加, 误差 δ 会越来越大, 但是, 如果系统采用较高的时基频率 f , 误差 δ 则会相对较小。

本系统采用的是 MSP430F449 单片机,它可以使用多个时钟源产生多个时钟信号,支持的最高时基频率 $f=8 \times 10^6$ Hz。本测量系统利用一种 MSP430F449 单片机开发板实现,该开发板具有的最高时基频率为 $f=4 \times 10^6$ Hz。由于定时器是 16 位的,最大的计数值 $M=65\,535$,所以系统能够检测到的最低转速 $n_{\min} = \frac{60f}{65\,535} = \frac{60 \times 4 \times 10^6}{65\,535} = 3\,662.16$ r/min,它随着 f 的增大而增大。为了扩展定时器的计时长度的、测量低转速,可定义一个变量,该变量记录定时器的溢出次数,定时器溢出时,变量加 1,并且定时器自动从 0 开始计时,则系统能够检测到的最低转速 $n_{\min} = \frac{60 \times 4 \times 10^6}{65\,535 \times 65\,535} = 0.056$ r/min。系统的误差 $\delta \approx \frac{n}{60f} = \frac{n}{60 \times 4 \times 10^6}$,当 $n=10\,000$ r/min,误差 $\delta=4.17 \times 10^{-5}$ 。若改换晶振,采用单片机支持的最高时基频率 $f=8 \times 10^6$ Hz 时, $n_{\min}=0.112$ r/min,误差 $\delta \approx \frac{n}{60f} = \frac{n}{60 \times 8 \times 10^6}$,当 $n=10\,000$ r/min,误差 $\delta=2.085 \times 10^{-5}$ 。

2.2 测量系统工作原理

转速测量系统工作原理如图 1 所示。

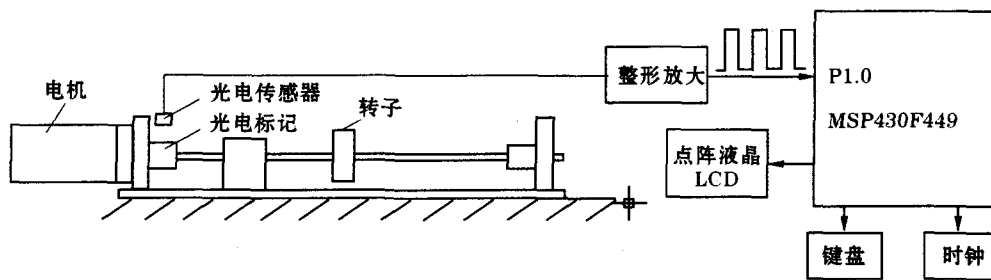


图 1 转速测量系统工作原理图

输入信号来自反射式光电传感器,在转子的转轴上贴上 1 个反光片,当传感器发出的信号被反光片反射回来时,传感器将输出一个脉冲,输出的脉冲信号经过整形、放大等处理,由单片机的 P1.0 引脚输入,经单片机转速测量模块处理,得到转速的测量值,并实时显示。系统的显示模块采用的是点阵液晶 (LCD) 显示,方便操作者读取信息。

3 软件设计

为了迅速、准确地测量转速,软件需对转速进行循环测量。根据功能,程序分为 3 部分,1 个主程序和 2 个中断程序,程序框架如图 2 所示。

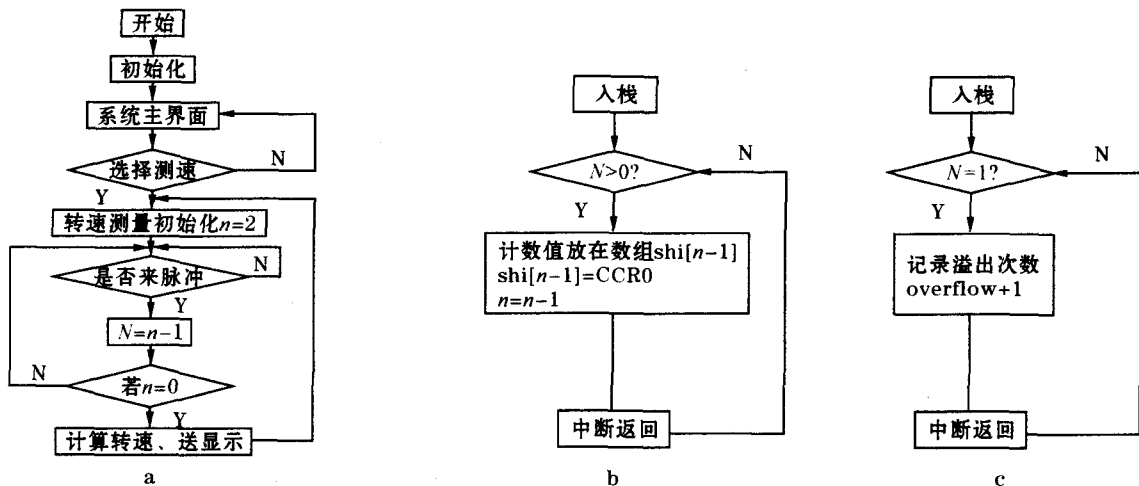


图 2 系统程序框架图

程序初始化把定时器/计数器 TimerA 定义为上升沿捕捉模式,开启 TimerA 后,当传感器的第一个脉冲上升沿到来时,系统进入 TimerA 的中断程序,在中断程序中,把 TimerA 的第一次计数值 CCR0

存至数组变量 shi[1]。此后,在第二个脉冲的上升沿到来之前,如果 TimerA 发生计数溢出,系统便进入 TimerA 溢出中断程序。在程序中,只是简单的把溢出次数 N 累加,直至第二个脉冲的上升沿到来,系统便再一次进入 TimerA 的中断程序,把第二次计数值 CCR0 存至数组变量 shi[0],从而得到转子转动一周的时间间隔 $T_p = \frac{N \times 65535 + \text{shi}[0] - \text{shi}[1]}{f}$,再调用转速计算程序,计算得到转速,送至显示器。

4 实验结果

按照以上述方案设计实验,用 MSP430F449 单片机开发板对某一方波进行转速测量,方波信号由 GFG 函数信号产生器产生。实验得到的数据见表 1。

表 1 实验数据与理论数据的比较

	输入信号频率/Hz							
	10.05	60.01	100.04	150.07	200.15	280.06	350.02	450.03
转速理论值/(r·min ⁻¹)	600.3	3 606.0	6 002.4	9 004.2	12 009.0	16 803.6	2 1001.2	27 001.8
转速测量值/(r·min ⁻¹)	600.3	3 605.9	6 002.5	9 003.6	12 008.4	16 803.1	20 999.8	26 999.6
转速相对误差/%	0.000 0	0.002 8	0.001 7	0.007 8	0.005 0	0.003 0	0.002 0	0.004 0

由表 1 可知,在低频率时,测量精度是非常高的;在高频率时,测量精度相对低一些。主要是由于转速提高所引起的,但是因为采用了比较高的时基频率 f ,即使在高频率时,相对误差 δ 的值还是比较小的,故满足系统测速高精度的要求,并实现了宽范围的测速要求。

5 小结

采用 MSP430 单片机来测量转速,可以提高转速测量的准确度,并具有很好的实时性。本文设计的转速测量算法,克服了高时基频率引起的转速测量范围小的缺点,其测试精度高、实时性好,在旋转机械的转速测量中具有广泛的应用价值。

参考文献:

- [1] 卓清风,刘和平. 单片机式高精度转矩转速效率仪的研究[J]. 电工技术杂志,2000(5):28-29.
- [2] 周军,张瑞兰. 旋转机械中利用 8098 单片机实现高精度转速测量的一种方法[J]. 自动化仪表,1998,19(8):12-13.
- [3] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计事例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002:11.
- [4] 蒋浩,孔飘红. 电机转速检测方法与误差分析[J]. 中国测试技术,2003(3):34-59.

【责任编辑:任小平】

Measurement of rotational speed of rotary machine based on MSP430 micro-controller unit

JIANG Wen-xin^{1,2}, WANG Jian-xiao¹

(1. Department of Mechatronics Engineering, Foshan University, Foshan 528000, China;

2. School of Mechanical & Automobile Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Several methods of measuring rotational speed of rotary machines are introduced, and the principles and measuring tolerances are analyzed. By using a hardware test system based on the MSP430 micro-controller unit and making some improvement to the cycle measurement method, the rotational speed measurement to higher accuracy and wider range is realized.

Key words: rotational speed; measurement; micro-controller unit