

某型发动机转速测量的实现

安治永, 李应红, 徐永强, 苏长兵
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要: 为了提高发动机转速测量的精度和可靠性, 采用 AT89C51 单片机制作了飞机发动机智能检测控制系统, 此系统通过对转速信号的采集、运算、分析来实现对发动机运行状态的在线监控, 此系统采用多周期同步测频法来实现对转速的测量。结果表明: 它克服了一般测频方法对被测信号计数产生的 ± 1 个字误差, 提高了检测精度。系统具有体积小、成本低、精度高等特点, 应用前景广阔。

关键词: 单片机; 转速; 测量; 飞机发动机

中图分类号: V2 23 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000 - 9787(2006)01 - 0036 - 03

Realization of measurement in certain type aeromotor's rotational speed

AN Zhi-yong, LI Ying-hong, XU Yong-qiang, SU Chang-bing
(Inst of Engn, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract For improving the measuring accuracy and reliability, the intelligence checking and controlling system of aeromotor is designed with AT89C51 single chip processor. Monitor of the aeromotor's working state on line is accomplished through collection, operation, and analysis of the rotational speed. The system uses the way of frequency measuring of many circles and synchronization to measure the rotational speed. The results show that it avoids the ± 1 error coming from the traditional method and improves the measuring accuracy. This system has the characteristic of small volume, low cost, high accuracy and etc. It can be used widely in future.

Key words: single chip processor; rotational speed; measurement; aeromotor

0 引言

飞机发动机是飞机的“心脏”, 发动机工作状态的好坏关系到飞机和飞行员的安全, 因此, 对发动机状态的监测和控制至关重要。为了获得发动机控制系统的高性能和自动化水平, 速度的精确测量是必要条件之一。本文介绍了采用先进的计算机数据采集与控制技术, 解决了在地面模拟飞机发动机工作状态与数据实时采集与传送的矛盾, 大大提高了检测精度, 缩短了检测时间。

1 测周期方法的选取

1.1 直接测频法

最简单的测量频率的方法是直接测频法。直接测频法就是在给定的闸门信号中填入脉冲, 通过必要的计数线路, 得到填充脉冲的个数, 从而算出待测信号的周期。由于本设计所测的频率较低, 选用待测信号作为闸门信号, 而标频信号作为填充信号。设标准信号计数值为 N , 频率为 f_0 , 周期为 T_0 。则这种测量方法的频率测量值为 $f_x = 1/N T_0$, 由于存在对标频信号计数的 ± 1 个字误差, 所以, 测量精度为

$f_x = \pm 1^2 / f_0$, 这种测量频率方法的主要缺点是存在误差^[3]。

1.2 多周期同步测频方法

在直接测频的基础上发展的多周期同步测量方法, 在目前的测频系统中得到越来越广泛的应用。多周期同步测频技术的闸门时间不是固定的值, 而是被测信号的整周期倍, 即与被测信号同步, 因此, 消除了对被测信号计数产生的 ± 1 个字误差, 测量精度大大提高, 而且, 达到了在整个测量频段的准确测量。测量原理波形如图 1 所示。

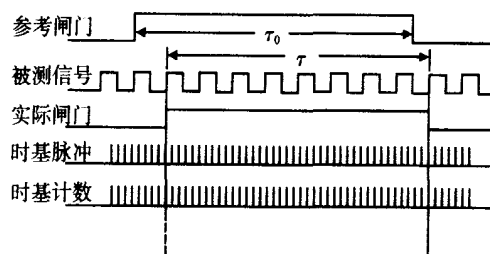


图 1 多周期同步测频原理波形图

Fig 1 Principle diagram of frequency measuring of many circles and synchronization

收稿日期: 2005 - 08 - 29

首先,有单片机给出闸门开启信号,此时,计数器并不开始计数,而是等到被测信号的上升沿到来时才真正开始计数。然后,两组计数器分别对被测信号和时基脉冲计数。当单片机给出闸门关闭信号后,计数器并不立即停止计数,而是等到被测信号下降沿到来时才真正结束计数,完成一次测量过程。可以看出:实际闸门与设定的闸门并不严格相等,但最大差值不超过被测信号的一个周期。

被测频率 $f_x = N_x / N_0 f_0$, 其中,被测信号的计数值为 N_0 , 时基信号的频率为 f_0 , 闸门时间为 t , 计数器的开闭与被测信号是完全同步的,即在实际闸门中包含整数个被测信号的整周期,因而,不存在对被测信号计数的 ± 1 个字误差,可以计算出测量分辨力为 $df_x / f_x = \pm 1 / f_0$,从而得出:测量分辨力与被测信号频率的大小无关,仅与闸门时间及时基频率有关,即实现了被测频带内的等精度测量。闸门时间越长,时基频率越高,分辨力越高。

2 转速传感器及信号提取

安装在发动机附件机匣上的转速传感器是一个三相交流测速发电机,它感受发动机涡轮轴的转速并输出,它由转子和定子组成。转子是一个两极永久磁铁。定子内装有星形联接的三相绕组。当磁铁转子旋转时,磁铁转子的磁场也跟着旋转,在定子绕组所在空间形成了旋转磁场。定子绕组切割磁力线产生感应电势,在 3 根引出线上便有三相交流电输出,其交流频率为

$$f = pn_1 / 60, \tag{1}$$

式中 p 为磁极对数; n_1 为转子的转速, r/min。此交流电的频率与磁铁转子的转速成正比。而磁铁转子由涡轮轴带动旋转,所以,它也与发动机涡轮轴的转速成正比。这样,三相交流电频率的大小就能表示发动机涡轮轴转速的大小。

为了平稳地传送转速,要求三相交流电的波形接近于正弦波,因此,磁极转子的外缘有 2 个扭转的切口,以改善交流电的波形。

转子轴具有弹性,它的外端与发动机附件机匣的减速齿轮相联,发动机涡轮轴与转子轴的转速比为 2:1。当发动机转速突然变化时,弹性轴允许扭转一定的角度而不致扭断,能起到缓冲的作用,同时,也能补偿安装时的偏斜。由于此发动机的转速范围为 1700 ~ 5000 r/min, p 为 2,因此,可以算出转速传感器输出的每相交流电的交流频率范围为 28 ~ 82 Hz,频率非常低,周期很长,如果采用频率/电压的转换方式进行测量,误差非常大,精度不高,因此,采用测周期法来进行转速测量。

3 系统组成及工作原理

系统实现对某型飞机发动机转速的在线检测,其工作原理是通过硬件设计对转速信号进行转换、采集,并经过

AT89C51 单片机芯片进行运算处理分析,然后,根据需要进行分析仪表盘显示或送入防喘控制器中和温度信号进行换算转速计算,从而对发动机的喘振进行预控。系统的原理如图 2 所示。

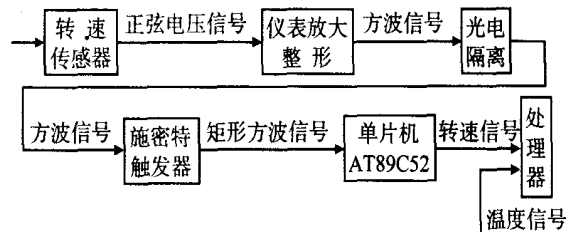


图 2 转速测量原理框图

Fig 2 Block diagram of measuring principle of aeromotor rotational speed

系统选用 AT89C51 单片机^[1,2,4],它是一种低功耗、低电压、高性能的 8 位单片机,片内带有一个 4 k 字节的 Flash 可编程可擦除只读存储器和 128 字节 RAM,它采用了 CMOS 工艺和 ATMEL 公司的高密度非易失性存储器技术,而且,其输出引脚和指令系统都与 MSC-51 兼容,片内程序存储器空间能满足系统存储需要,可省去片外 EPROM 程序存储器和地址锁存器,使电路结构简单。同时,具有性能高、控制方式可靠、保密性强、功耗低、应用灵活方便等特点,电路如图 3 所示。

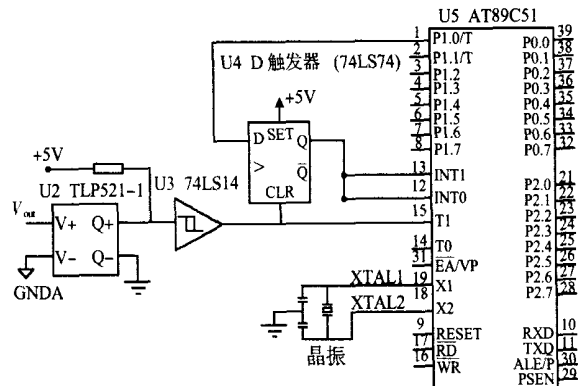


图 3 AT89C51 实现多周期同步测量电路

Fig 3 Circuit of frequency measuring of many circles and synchronization with AT89C51

AT89C51 单片机实现转速测量过程为 T0 和 T1 分别记录时标脉冲和待测脉冲个数,闸门时间由 AT89C51 内部定时器 T0 产生, P1.0 脚为闸门时间信号输入端, D 触发器的 Q 脚为同步门控制信号输出端,单片机的 2 个计数器都设置为外部门控工作方式, T0 为定时, T1 为计数器,被测脉冲信号被送入单片机的 T1 脚和 D 触发器的 CLR 端,此信号经 P1.0 脚的控制后,再同时送给单片机的 NT0 和 NT1 脚。在 P1.0 = 1 的状态下,当被测信号的上升沿到来时, D 触发器的 Q 端输出正跳变,此跳变信号启动计数 T0, T1 同时分别对时标和待测信号计数。当预置的闸门时间结束时,让 P1.0 = 0,等到下一个待测信号的上升沿到来时, Q 端输出的负跳变,计数器 T0, T1 同时停止计数。

4 试验结果

因为测量转速的精度完全取决于交流频率的精度,而交流频率的测量分辨力与被测信号频率的大小无关,仅与闸门时间及时基频率有关,闸门时间越长,时基频率越高,分辨力越高,分别取不同的闸门时间对稳定的发动机涡轮轴恒定低、中、高转速分别为 1 800, 3 000, 4 800 r/min(分别相当于测速发电机的交流频率为 30, 50, 80 Hz)进行试验测量,结果如表 1 所示,从中可以得出:闸门时间取 1 s,转速测量精度达到 0.000 1,达到了系统精度要求。

表 1 不同转速时的试验数据

Fig 1 Experimental data of different rotational speed

1 800 r/min				
闸门时间 (ms)	被测信号 30 Hz 的 测量结果 (Hz)	频率测量 误差 (%)	转速测试值 (r/min)	转速相对 误差 (%)
0.5	30 ±0.24	±0.8	1 786.599 8	±14.400
1	30 ±0.12	±0.4	1 792.799 5	±7.200 0
2	30 ±0.06	±0.2	1 795.399 8	±3.600 0
5	30 ±0.024	±0.08	1 798.560 0	±1.440 0
10	30 ±0.012	±0.04	1 799.279 5	±0.720 0
20	30 ±0.006	±0.02	1 799.640 0	±0.360 0
100	30 ±0.001 2	±0.004	1 799.928 0	±0.072 0
1000	30 ±0.000 12	±0.000 4	1 799.992 8	±0.007 2

3 000 r/min				
闸门时间 (ms)	被测信号 50 Hz 的 测量结果 (Hz)	频率测量 误差 (%)	转速测试值 (r/min)	转速相对 误差 (%)
0.5	50 ±0.4	±0.8	2 976.000 0	±24
1	50 ±0.2	±0.4	2 987.000 0	±12
2	50 ±0.1	±0.2	2 993.000 0	±6
5	50 ±0.04	±0.08	2 997.596 0	±2.4
10	50 ±0.02	±0.04	2 998.799 8	±1.2
20	50 ±0.01	±0.02	2 999.399 7	±0.6
100	50 ±0.002	±0.004	2 999.979 0	±0.12
1000	50 ±0.000 2	±0.000 4	2 999.988 0	±0.012

(上接第 35 页)

3 结论

通过对 RuO_2 脱水温度、合成 $\text{B}_{1/2}\text{Ru}_2\text{O}_7$ 固相反应温度和时间控制,并进行导电相与玻璃相粒径大小的有效搭配以及纳米掺杂改性,可以将钉系电阻器的灵敏系数 S 提高到 17 左右,这对提高厚膜压阻式传感器的输出性能(包括满量程输出、精度、抗过载等)及其稳定性有重要作用。而至于纳米掺杂改性后电阻浆料的微结构对厚膜压阻式传感器的力敏特性影响,研究仍有待于深入。

参考文献:

- [1] Pike G E, Seager C H. Thick film resistors conductive mechanism

4 800 r/min				
闸门时间 (ms)	被测信号 80 Hz 的 测量结果 (Hz)	频率测量 误差 (%)	转速测试值 (r/min)	转速相对 误差 (%)
0.5	80 ±0.64	±0.8	4 761.600 0	±38.400 0
1	80 ±0.32	±0.4	4 781.800 0	±19.200 0
2	80 ±0.16	±0.2	4 790.400 0	±9.600 0
5	80 ±0.064	±0.08	4 796.160 0	±3.840 0
10	80 ±0.032	±0.04	4 798.080 0	±1.920 0
20	80 ±0.016	±0.02	4 799.040 0	±0.960 0
100	80 ±0.003 2	±0.004	4 799.908 0	±0.192 0
1000	80 ±0.000 32	±0.000 4	4 799.980 8	±0.019 2

5 结论

本文介绍了用 AT89C51 单片机实现发动机涡轮轴转速测量的原理及软硬件设计。系统充分利用了单片机优越的编程和控制性能,实现了用多周期同步测频法对发动机转速的精确测量,从而克服了一般测频方法对被测信号计数产生的 ±1 个字误差。系统经过实际运行调试后,运行情况良好,测速误差小。硬件电路设计在微小的电路板上,结构简单,便于应用在飞机上,而且,具有检测精度高、可靠性高、成本低、实用性强、智能化程度高等特点,具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 王福瑞. 单片机微机测控系统设计大全 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1998. 110 - 119.
 [2] 何希才. 传感器应用接口电路 [M]. 北京:机械工业出版社, 1997. 49 - 55.
 [3] 王保强. 高精度测频方案设计 [J]. 成都信息工程学院学报, 2002, 17(2): 77 - 81.
 [4] 徐淑华. 单片微型机原理及应用 [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1997. 168 - 178.

作者简介:

安治永(1973 -),男,河北定州人,博士研究生,研究方向为航空宇航推进系统理论与机械电子工程。

[J]. J Appl Phys, 1977, 48(51): 52 - 65.

- [2] Tamborin M, Piccinini S, Prudenziati M, et al. Piezoresistive properties of RuO_2 -based thick-film resistors: the effect of RuO_2 grain size [J]. Sensors and Actuators A, 1997, 58: 159 - 164.
 [3] Adachi K, Kuno H. Effect of glass composition on the electrical properties of thick-film resistors [J]. J Am Ceram Soc, 2000, 83(10): 2441 - 2448.
 [4] 马以武,宋 箭,常慧敏,等. 纳米 Al_2O_3 掺杂对厚膜应变电阻性能的影响 [J]. 功能材料, 1998, 28(4): 386 - 389.

作者简介:

陈建群(1980 -),男,江西新干人,硕士研究生,研究方向为技术与自动化装置。