

# 等精度测频仪的低成本微控制器实现

## Realization of the Same Measuring Precision Cymometer Using Low Cost Microcontroller

潘 明, 龚然礼

Pan Ming, Gong Ranli

(桂林电子工业学院计算机系, 广西桂林 541004)

(Computer Dept., Guilin Institute of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

**摘要:** 在叙述等精度测频原理及误差分析的基础上, 阐述低成本微控制器(MCU)的硬件设计和软件设计. 用低成本 MCU 实现的等精度测频仪的精度高, 成本低, 可靠性高, 使用方便, 具有实用价值和生产意义.

**关键词:** 微控制器 频率 等精度测量

**中图分类号:** TM93

**Abstract:** The measuring precision of cymometer based on conventional theories is waved according to the frequency change of measured signal. The design of main system of frequency measuring is discussed in detail. The design adopts a lower cost MCU with a method called measuring in the same precision which not only has higher measuring precision but also can keep constant measuring precision on the all frequency region. The experiment shows that cymometer has advantages of wide measurement band, high accuracy, low cost and easy to use.

**Key words:** MCU (Microcontroller), frequency, measuring in same precision

在电子测量技术中, 频率测量是最基本的测量之一. 常用的直接测频方法主要有测频法和测周期法两种. 测频法就是在确定的闸门时间  $T_w$  内, 记录被测信号的变化周期数(或脉冲个数)  $N_x$ , 则被测信号的频率为:  $f_x = N_x/T_w$ . 测周期法需要有标准信号的频率  $f_s$ , 在待测信号的一个周期  $T_x$  内, 记录标准频率的周期数  $N_s$ , 则被测信号的频率为:  $f_x = f_s/N_s$ [1]. 这两种方法的计数值会产生  $\pm 1$  个数字误差, 并且测试精度与计数器中记录的数值  $N_x$  或  $N_s$  有关. 为了保证测试精度, 一般以中界频率为界限, 对于低频信号采用测周期法; 对于高频信号采用测频法. 但是, 测量精度均随频率变化, 采用等精度测频方法可以使测量精度保持不变. 等精度频率测量方法具有测量精度保持恒定, 不随所测信号频率的变化而变化, 并且结合微控制器(MCU)具有集成度高、价格低廉和高可靠性的特点, 使频率的测频范围可达到  $0.1\text{Hz} \sim 10\text{MHz}$ , 整个测频范围内相对误差恒为  $10^{-7}$ [2].

### 1 等精度测频原理及误差分析

等精度测频方法是在直接测频方法的基础上发

展起来的. 它的闸门时间不是固定的值, 而是被测信号周期的整数倍, 即与被测信号同步, 因此, 消除了对被测信号计数所产生  $\pm 1$  个数字误差, 并且达到了在整个测试频段的等精度测量. 其测频原理如图 1 所示.

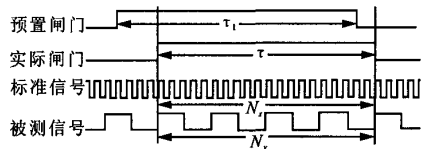


图 1 等精度测频原理

在测量过程中, 有 2 个计数器分别对标准信号和被测信号同时计数. 首先给出闸门开启信号(预置闸门上升沿), 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, 计数器才真正开始计数. 然后预置闸门关闭信号(下降沿)到时, 计数器并不立即停止计数, 而是等到被测信号的上升沿到来时才结束计数, 完成 1 次测量过程. 可以看出, 实际闸门时间  $\tau$  与预置闸门时间  $\tau_1$  并不严格相等, 但差值不超过被测信号的一个周期.

设在 1 次实际闸门时间  $\tau$  中计数器对被测信号的计数值为  $N_x$ , 对标准信号的计数值为  $N_s$ . 标准信号的频率为  $f_s$ , 则被测信号的频率为

$$f_x = \frac{N_x}{N_s} f_s, \tag{1}$$

由式(1)可知,若忽略标准频率 $f_s$ 的误差,则等精度测频可能产生的相对误差为

$$\delta = (|f_{xx} - f_x|/f_{xx}) \times 100\%, \tag{2}$$

其中 $f_{xx}$ 为被测信号频率的准确值。

在测量中,由于 $f_x$ 计数的起停时间都是由该信号的上升沿触发的,在闸门时间 $\tau$ 内对 $f_x$ 的计数 $N_x$ 无误差( $\tau = N_x T_x$ );对 $f_s$ 的计数 $N_s$ 最多相差一个数的误差,即 $|\Delta N_s| \leq 1$ ,其测量频率为:

$$f_{xx} = [N_x / (N_s + \Delta N_s)] / f_s, \tag{3}$$

将式(1)和式(3)代入式(2),并整理得:

$$\delta = |\Delta N_s| / N_s \leq 1 / N_s = 1 / (\tau \times f_s). \tag{4}$$

由式(4)可以看出,测量频率的相对误差与被测信号频率的大小无关,仅与闸门时间和标准信号频率有关,即实现了整个测试频段的等精度测量. 闸门时间越长,标准频率越高,测频的相对误差就越小. 标准频率可由稳定度好、精度高的高频石英晶体振荡器产生,在保证测量精度不变的前提下,提高标准信号频率,可使闸门时间缩短,即提高测试速度. 表1所列为标频在10MHz时闸门时间与最大允许误差的对应关系.

表1 闸门时间与精度的关系

闸门时间(s)	精度
0.01	$10^{-5}$
0.1	$10^{-6}$
1	$10^{-7}$

## 2 硬件设计

在快速测量的要求下,要保证较高精度的测频,必须采用较高的标准频率信号;而MCU的2个内部计数器不受本身时钟频率和若干指令运算的限制,为实现高速、高精度的测频提供了保证.

整个测频系统分为多个功能模块,其中包括:信号同步输入、控制部件、分频和计数部件、定时、数码显示、放大整形和标频信号等模块.  $T_0$ 和 $T_1$ 是2个可控计数器,标准频率( $f_s$ )信号经过与非门经前级高速计数器74F393分频后从 $T_0$ 的时钟输入端CLK输入;经整形后的被测信号( $f_x$ )受与非门控制,通过高速计数器74F393分频后,从 $T_1$ 的时钟输入端CLK输入. D触发器的输出Q为时钟使能控制信号. 当预置门信号为高电平(预置时间开始)时,被测信号的上升沿通过D触发器的输出端,同

时启动2个计数器计数;同样,当预置门信号为低电平(预置时间结束)时,被测信号的上升沿通过D触发器的输出端,同时关闭计数器的计数. MCU的P1.0口提供约为0.2s的闸门时钟. 高速计数器74F393的加入可以提高被测信号频率的上限. 图2所示为测频主系统框图. 可利用MCU完成数据处理和显示输出. 计数器是16位二进制计数器(4个8位计数值),利用定时器的中断溢出可以扩展成2个32位的计数器. MCU通过 $[T_1, T_0]$ 数据读出计数值,根据测频和测脉宽原理公式计算出频率和脉冲宽度.

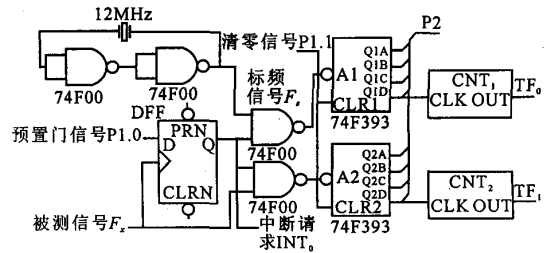


图2 测频主系统电路原理

## 3 软件设计

测频程序主要由2个部分组成:主程序和中断服务程序,程序流程如图3所示. 主程序完成系统的初始化,键盘检测、扫描显示,检测控制和数据计算. 中断服务程序完成对标准信号频率数据和被测信号计数器的读取.

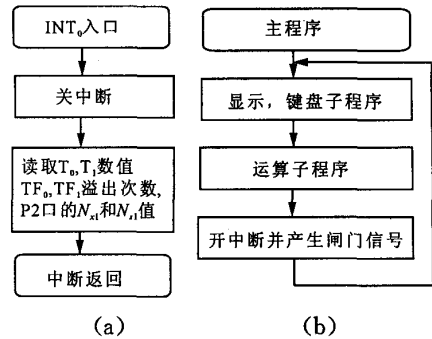


图3 中断服务程序和主程序流程

(a)中断服务程序;(b)主程序流程

### 3.1 频率测量

$INT_0$ 的输入接D触发器的输出Q,当计数器闸门关闭时,在中断服务程序中读取标频信号和被测信号的计数值.

(1)首先设置预置门信号为高电平, $F_x$ 的下降沿D触发器输出“1”,标准频率信号和被测信号分别进入 $CNT_1$ 和 $CNT_2$ ,开始对标准频率信号和被测

频率信号进行计数。

(2)当闸门信号为低,并且 $F_x$ 的下降沿D触发器触发,产生 $INT_0$ 中断信号,使MCU响应外部中断。当 $INT_0$ 中断发生后,从中断子程序中读取 $T_0$ , $T_1$ 数值和2个计数器的中断次数,从P2口读入高速计数器74F393的计数值 $N_{x1}$ 和 $N_{s1}$ 。

总计数值为:

$$N_s = (N_1 \times 65536 + TH_0 \times 256 + TL_0) \times 16 + N_{s1}$$

$$N_x = (N_2 \times 65536 + TH_1 \times 256 + TL_1) \times 16 + N_{x1}$$

根据测频计算公式在主程序中进行运算,并显示当前的被测量频率值和周期值。

### 3.2 脉冲宽度测量

测脉冲宽度时, $INT_0$ 的输入直接接被测信号 $F_x$ ,作为对标频信号计数器 $CNT_1$ 工作的启/停控制信号,在单片机的控制下直接测量脉冲宽度。当 $F_x$ 脉冲高电平到来时 $CNT_1$ 开始计数, $F_x$ 脉冲低电平到来时 $CNT_1$ 停止计数。 $INT_0$ 的计数值与脉宽值相对应。

### 3.3 周期与占空比测量

周期与占空比可以通过间接测量获得。周期等

于频率的倒数 $T = 1/f$ ,占空比可以用脉冲宽度除以周期。在测量频率和测量脉冲宽度的基础上,在MCU中经过计算就可得到周期与占空比的值。

在标准频率信号为12MHz情况下,其测量精度可达 $8.33 \times 10^{-8}$ ,能够显示近8位有效数字。

## 4 结束语

目前各种新器件出现、普及、使用,对提高电子系统的功能和性能具有极大的帮助,而MCU以它低廉的价格,良好的控制性能和运算能力,具有很高的性能/价格比。本系统就是用价格低廉的MCU完成的数据处理功能,并结合等精度测量原理使整个过程中保持测量精度不变,使该系统更具有实用价值和生产意义。如果提高测频系统的标准信号频率,可进一步提高测量频率的精度。

### 参考文献:

- 1 杨吉祥,等.电子测量技术基础.南京:东南大学出版社,1999.
- 2 任庆,等.电子测量原理.成都:电子科技大学出版社,1989.

(责任编辑:邓大玉)

欢迎订阅 2005 年

科学时报

中国科学院主办 中国工程院 国家自然科学基金委员会 共办

《科学时报》从1959年1月创刊至今,已有45年的历史,是全国性科技类大型日报,对开8版,彩色印刷,1-4版为主报,5-8版依次为《大学周刊》、《创业周刊》、《读书周刊》、《科学周末》、《中关村周刊》。

《科学时报》以科学的眼光观察、报道、评论每天发生的国内外科学、教育、政治、经济、社会、文化等方面的新闻事件。其鲜明特色是科学性、权威性、知识性、思想性、可读性。《科学时报》背靠中国科学院和中国工程院的一千多名院士,密切联系科研院所和高等院校的专家学者,是我国唯一依靠科学家与专家学者创办的高品位报纸。《科学时报》以其鲜明的特色赢得了社会各界的关注。

《科学时报》读者定位:科学家、技术专家、科技工作者、高校教师、研究生和大学生;企业家、经济工作者、企业管理人员;党和政府各级领导干部。

邮发代号:1-82

国内外公开发行

各地邮局均可订阅

定价:全年180元

报社地址:北京市海淀区中关村南一条乙3号

邮编:100080

电话:82614582 82614579

传真:82614582 82614609

网址:<http://www.sciencetimes.com.cn>