

文章编号: 1671-1742(2002)02-0077-05

# 高精度测频方案设计

王保强, 窦文, 白红  
(成都信息工程学院, 四川 成都 610041)

**摘要:**介绍了一种基于数字频率计原理,以 AT89C51 单片机为控制器件的新型频率测量方法。论述了基本原理和软硬件实现,并对其误差进行了分析。克服了通用频率计由于  $\pm 1\text{MSB}$  误差在高低频段测量精度不等的缺陷,实现了高低频率的等精度测量。由于此方法具有高精度、低成本、易改进的特点,因此具有一定的实用性。

**关键词:** 频率测量; 高精度检测; 多周期同步; 单片机

**中图分类号:** TM935.13<sup>+</sup>3      **文献标识码:** A

## 1 引言

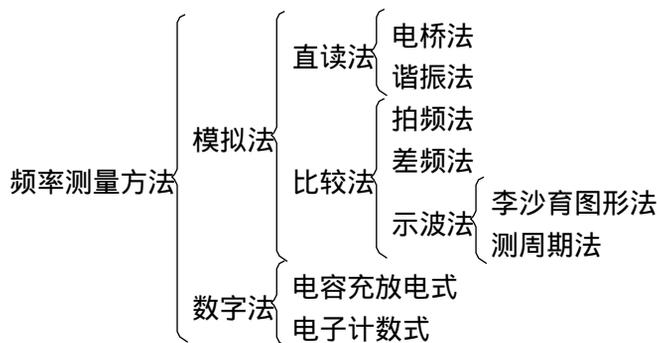
频率测量在科技研究和实际应用中的作用日益重要。频率信号抗干扰性强、易于传输,可以获得较高的测量精度。同时,频率测量方法的优化也越来越受到重视。

本方案是结合超声波治疗机研制的实际需要而提出的。在分析多种频率测量方法的基础上,以提高测量精度为主要目的,提出了基于多周期同步测频原理,并采用 AT89C51 单片机和相关硬软件实现之。设计中充分利用了单片机内部资源而减少外围芯片,利用 AT89C51 的外部中断源和内部定时/计数器配合并采取一些软件措施,获得了较高的测量精度。

## 2 方案设计

### 2.1 频率测量方法概述

频率测量方法大致可分为如下几类:



直读法又称无源网络频率特性测量法;比较法是将被测频率信号与已知频率信号相比较,通过观、听比较结果,获得被测信号的频率;电容充放电式计数法是利用电子电路控制电容器充放电的次数,再用电磁式仪表测量充放电电流的大小,从而测出被测信号的频率值;电子计数法是根据频率定义进行测量的一种方法,它是用电子计数器显示单位时间内通过被测信号的周期个数来实现频率的测量。

利用电子计数式测量频率具有精度高、测量范围宽、显示醒目直观、测量迅速,以及便于实现测量过程自动化

收稿日期:2001-12-18; 修订日期:2002-01-14

等一系列优点,所以下面将重点介绍电子计数式测量频率的几种方法。

(1) 脉冲数定时测频法(M法): 此法是记录在确定时间  $T_C$  内待测信号的脉冲个数  $M_X$ , 则待测频率为:

$$F_X = M_X / T_C$$

显然,时间  $T_C$  为准确值,测量的精度主要取决于计数  $M_X$  的误差。其特点在于:测量方法简单;测量精度与待测信号频率和门控时间有关,当待测信号频率较低时,误差较大。

脉冲周期测频法(T法): 此法是在待测信号的一个周期  $T_X$  内,记录标准频率信号变化次数  $M_0$ 。这种方法测出的频率是:

$$F_X = M_0 / T_X$$

此法的特点是低频检测时精度高,但当高频检测时误差较大。

脉冲数倍频测频法(AM法): 此法是为克服M法在低频测量时精度不高的缺陷发展起来的。通过A倍频,把待测信号频率放大A倍,以提高测量精度。其待测频率为:

$$F_X = M_X / AT_0$$

其特点是待测信号脉冲间隔减小,间隔误差降低;精度比M法高A倍,但控制电路较复杂。

脉冲数分频测频法(AT法): 此法是为了提高T法高频测量时的精度形成的。由于T法测量时要求待测信号的周期不能太短,所以可通过A分频使待测信号的周期扩大A倍,所测频率为:

$$F_X = AM_0 / T_X$$

其特点是高频测量精度比T法高A倍;但控制电路也较复杂。

脉冲平均周期测频法(M/T法): 此法是在闸门时间  $T_C$  内,同时用两个计数器分别记录待测信号的脉冲数  $M_X$  和标准信号的脉冲数  $M_0$ 。若标准信号的频率为  $F_0$ ,则待测信号频率为:

$$F_X = F_0 M_X / M_0$$

M/T法在测高频时精度较高;但在测低频时精度较低。

多周期同步测频法: 是由闸门时间  $T_C$  与同步门控时间  $T_d$  共同控制计数器计数的一种测量方法,待测信号频率与M/T法相同。此法的优点是,闸门时间与被测信号同步,消除了对被测信号计数产生的  $\pm 1$  个字误差,测量精度大大提高,且测量精度与待测信号的频率无关,达到了在整个测量频段等精度测量。

## 2.2 方案选择

### 2.2.1 方案1——采用专用频率计模块实现频率测量

采用频率计模块(如ICM7216)构成,原理框图如图1所示。特点是结构简单,量程可以自动切换。

ICM7216内部带有放大整形电路,可以直接输入模拟信号。外部振荡部分选用一块高精度晶振体和两个低温系数电容构成10MHz并联振荡电路。用转换开关选择10ms,0.1s,1s,10s四种闸门时间,同时量程自动切换。缓冲电路是为了让频率计采用记忆方式,即计数过程中不显示数据,待计数过程结束后,显示测频结束,并将此显示结果保持到下一次计数结果,显示时间不小于1s,小数点位置随量程自动移动。芯片驱动电路输出15mA—35mA的峰值电流,所以在5V电源下可直接点亮LED。

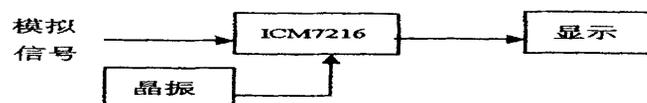


图1 ICM7216测频电路原理框图

### 2.2.2 方案2——采用单片机实现频率测量

此方案以AT89C51为核心,闸门信号由AT89C51内部定时器T0产生。用单片机内计数器T0和T1分别记录时标脉冲和待测脉冲个数,计数结果经AT89C51处理后送显示电路。同时,也能利用软件对测量误差进行补偿,为调试、维护和功能的扩展带来了极大的方便。

综合比较,选方案 2,利用多周期同步测频法实现等精度、高精度测量,且便于系统功能扩展。

### 3 测量原理及误差分析

先由单片机给出闸门开启信号,此时计数器并不计数,而是等到被测信号的上升沿到来时,才开始计数。然后,两组计数器分别对被测信号和时标脉冲计数。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的时刻才结束计数,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。

设被测信号的计数为  $N_X$ , 对时标的计数为  $N_0$ , 时标频率为  $f_0$ , 闸门时间为  $T$ , 则被测信号频率为:

$$f_X = f_0 N_X / N_0 \tag{1}$$

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周期,因而不存在对被测信号计数的  $\pm 1$  个字误差,由式 (1) 微分可得:

$$df_X = - (N_X f_0 dN_0) / N_0^2 \tag{2}$$

$$dN_0 = \pm 1 \tag{3}$$

$$= N_X / f_X \tag{4}$$

相对误差为:

$$e = f_X / f_X = N_X / N_X - N_0 / N_0 + f_0 / f_0 \tag{5}$$

式 (5) 中前两项分别表示计数器 T0 和计数器 T1 的误差,第三项为频率准确度。由于计数是在相关同步门控时间  $T$  内完成的,即由待测信号同步控制,因此同步门控  $T$  与计数器 T1 的计数脉冲相关,且  $T / T_X$  的比值  $N_X$  为整数,故被测信号计数值不存在计数误差。而计数器 T0 对时标的计数,由于门控  $T$  的启闭时刻的随机性及  $T / T_0$  之比值  $N_0$  为非整数 ( $T_0$  为时标周期),在门控  $T$  的启闭时刻分别有时间零头  $T_1$  和  $T_2$  无法计入,故存在  $\pm 1$  误差。当忽略频率准确度误差时,多周期同步法测频的最大误差为:

$$e_m = \pm 1 / N = \pm 1 / (f_0 T) \tag{6}$$

由式 (6) 可以看出,测量分辨率与被测信号频率的大小无关,仅与闸门时间及时标频率有关,即实现了被测频带内的等精度测量。闸门时间越长,时标频率越高,分辨率越高。

## 4 硬件系统实现

### 4.1 系统电路原理框图

系统电路原理框图如图 2 所示。因输入信号为脉冲信号,所以可直接将信号送入 AT89C51 单片机计数,但为了增强抗干扰能力以及实现对非标准脉冲信号的测量,因此利用乐施密特触发器 (74LS132) 进行整形。

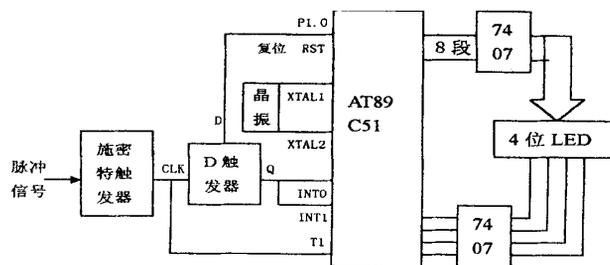


图 2 系统电路原理框图

### 4.2 同步门控制电路

同步门控制电路如图 3 所示,其中, 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。在进行频率测量时,单片机的两个计数器都设置为外部门控工作方式,其中 T0 设为定时,T1 设为计数。被测脉冲信号被送入单片机的 T1 脚和 D 触发器(74LS74)的 CLK 端,此信号经 P1.0 脚的控制后再同时送给单片机的 INT0 和 INT1 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器 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 端输出的负跳变使计数器 T0、T1 同时停止计数。

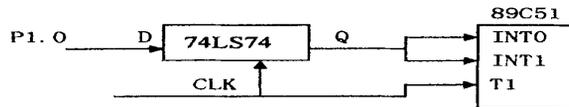


图3 同步门控制电路

#### 4.3 显示电路

显示电路采用两片 7407 驱动四位共阴极数码管作为位段显示,使用 4 位 7SEGLED 显示器。数码管电流约为 15mA,每段需接一阻值为 100 的限流电阻。

## 5 软件设计

该方案主要利用 89C51 内部的定时器和数据处理,其程序设计利用 VB 和汇编语言。相应软件包括:主程序、数据处理、显示子程序等。限于篇幅,只将主程序流程图示于图 4。

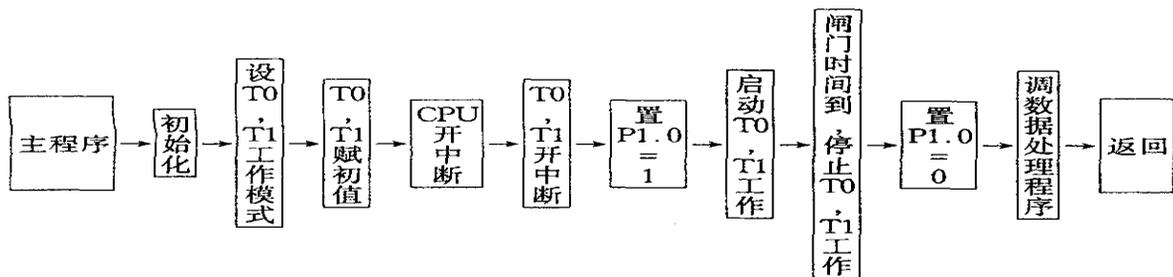


图4 主程序流程图

## 6 抗干扰措施

在高频情况下,线路之间的干扰对频率测量结果影响很大,因此,电路在设计中采用了以下几项抗干扰措施:

印刷电路板布局要求合理,降低高频引线干扰;运用隔离技术和良好的接地。

选用 CMOS 集成电路,噪声容限大,抗干扰能力强。

采用软件抗干扰措施,在程序中设置软件陷阱和软件看门狗。

## 7 结束语

本文介绍了应用在超声波治疗仪中的频率测量部分的设计方案,其中详细介绍了采用 AT89C51 单片机实现频率测量的原理及软硬件设计。此方案接口电路简单,充分利用了单片机的内部资源,成本低,实际使用性能可靠,还可通过改写 AT89C51 芯片程序扩展测频范围。文中提出的多周期同步测频法克服了以往测频方法对被测

信号计数产生的  $\pm 1$  个字误差,实现了课题所要求的高精度测量。同时注意,在要求快速测量的情况下,为得到高的测量精度,所以必须采用较高的时标频率。标频计数的位数增多,意味数据处理时需要较多的乘除运算周期和循环,不利于测试速度的提高。

### 参考文献:

- [1] 电子报社. 2000年电子报合订本[M]. 成都:电子科技大学出版社,2000.
- [2] 李朝青. 单片机原理及接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1999.
- [3] 白驹衍,雷小平. 单片计算机及其应用[M]. 成都:电子科技大学出版社,1997.
- [4] 朱大奇. 一种高精度测频电路设计[J]. 电子与自动化,1997,(4).
- [5] 刘永强. 8031单片机测频方法及其应用[J]. 自动化与仪器仪表,1997,(4).
- [6] 张永瑞. 电子测量技术基础[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1994.
- [7] 周航慈. 单片机应用程序设计基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1991.

## Design of high accuracy measurement of frequency

WANG Bao-qiang, DOU Wen, BAI Hong  
(Chengdu Univ. of Inf. Tech., Chengdu 610041, China)

**Abstract:** A new method of frequency measurement based on the theory of digital frequency meter is presented. The MCU AT89C51 is used for the center controller. The operation principle and the design of hardware and software of this method are discussed. It is obtained that the  $\pm 1\text{MSB}$  error exists equally in high frequency and low frequency bands. The characteristics of this method are of high accuracy, low cost and easy improvement.

**Key words:** frequency measurement; high accuracy detection; multi-cycle synchronism; MCU