

# 基于单片机的频率计设计

赫建国,刘立新,党剑华

(西安邮电学院 电子与信息工程系,陕西 西安 710061)

摘要:以单片机 89C51 为核心设计了一种频率计。在设计中应用单片机的数学运算和控制功能,实现了测量量程的自动切换,既满足测量精度的要求,又满足系统反应时间的要求。

关键词:频率测量;单片机;数据处理

中图分类号:TP368.1

文献标识码:A

文章编号:1007-3264(2003)03-0031-04

## 1 系统概述

### 1.1 系统组成

频率计由单片机 89C51、信号预处理电路、串行通信电路、测量数据显示电路和系统软件所组成,其中信号预处理电路包含待测信号放大、波形变换、波形整形和分频电路。系统硬件框图如图 1 所示。信号预处理电路中的放大器实现对待测信号的放大,降低对待测信号的幅度要求;波形变换和波形整形电路实现把正弦波样的正负交替的信号波形变换成可被单片机接受的 TTL/CMOS 兼容信号;分频电路用于扩展单片机的频率测量范围并实现单片机频率测量和周期测量使用统一的输入信号。

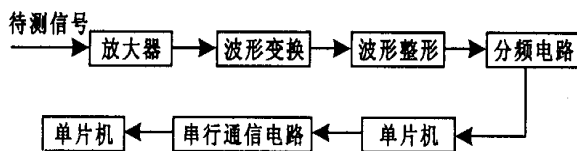


图 1 系统硬件框图

系统软件包括测量初始化模块、显示模块、信号频率测量模块、量程自动转换模块、信号周期测量模块、定时器中断服务模块、浮点数格式化模块、浮点数算术运算模块、浮点数到 BCD 码转换模块。系统

软件框图如图 2 所示。

### 1.2 处理方法

本频率计的设计以 AT89C51 单片机为核心,利用它内部的定时/计数器完成待测信号周期/频率的测量。单片机 AT89C51 内部具有 2 个 16 位定时/计数器,定时/计数器的工作可以由编程来实现定时、计数和产生计数溢出中断要求的功能。在构成为定时器时,每个机器周期加 1(使用 12MHz 时钟时,每 1us 加 1),这样以机器周期为基准可以用来测量时间间隔。在构成为计数器时,在相应的外部引脚发生从 1 到 0 的跳变时计数器加 1,这样在计数闸门的控制下可以用来测量待测信号的频率。外部输入每个机器周期被采样一次,这样检测一次从 1 到 0 的跳变至少需要 2 个机器周期(24 个振荡周期),所以最大计数速率为时钟频率的 1/24(使用 12MHz 时钟时,最大计数速率为 500 KHz)。定时/计数器的工作由相应的运行控制位 TR 控制,当 TR 置 1,定时/计数器开始计数;当 TR 清 0,停止计数。

设计综合考虑了频率测量精度和测量反应时间的要求。例如当要求频率测量结果为 3 位有效数字,这时如果待测信号的频率为 1Hz,则计数闸门宽度必须大于 1000s。为了兼顾频率测量精度和测量反应时间的要求,把测量工作分为两种方法。当待测信号的频率大于 100Hz 时,定时/计数器构成为

收稿日期:2002-11-07

作者简介:赫建国(1961-),男,陕西西安人,西安邮电学院电子与信息工程系高级实验师。

刘立新(1968-),男,陕西西安人,西安邮电学院电子与信息工程系工程师。

党剑华(1965-),男,陕西西安人,西安邮电学院电子与信息工程系高级工程师。

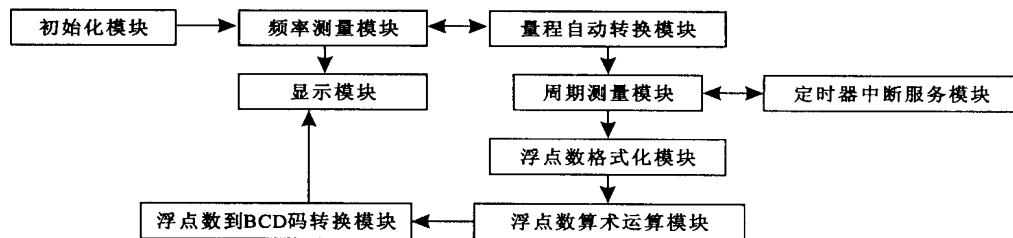


图2 系统软件框图

计数器,以机器周期为基准,由软件产生计数闸门,这时要满足频率测量结果为3位有效数字,则计数闸门宽度大于1s即可。当待测信号的频率小于100Hz时,定时/计数器构成定时器,由频率计的预处理电路把待测信号变成方波,方波宽度等于待测信号的周期。用方波作计数闸门,当待测信号的频率等于100Hz,使用12MHz时钟时的最小计数值为10000,完全满足测量精度的要求。

### 1.3 频率计的量程自动切换

在使用计数方法实现频率测量时,这时外部的待测信号为定时/计数器的计数源,利用软件延时程序实现计数闸门。频率计的工作过程为:首先定时/计数器的计数寄存器清0,运行控制位TR置1,启动定时/计数器;然后运行软件延时程序,同时定时/计数器对外部的待测信号进行计数,延时结束时TR清0,停止计数;最后从计数寄存器读出测量数据,在完成数据处理后,由显示电路显示测量结果。

在使用定时方法实现频率测量时,这时外部的待测信号通过频率计的预处理电路变成宽度等于待测信号周期的方波,该方波同样加至定时/计数器的输入脚。这时频率计的工作过程为:首先定时/计数器的计数寄存器清0,然后检测方波高电平是否加至定时/计数器的输入脚;当判定高电平加至定时/计数器的输入脚,运行控制位TR置1,启动定时/计数器对单片机的机器周期的计数,同时检测方波高电平是否结束;当判定高电平结束时TR清0,停止计数,然后从计数寄存器读出测量数据,在完成数据处理后,由显示电路显示测量结果。

测量结果的显示格式采用科学计数法,即有效数字乘以10为底的幂。这里设计的频率计用5位数码管显示测量结果:前3位为测量结果的有效数字;第4位为指数的符号;第5位为指数的值。采用这种显示格式既保证了测量结果的显示精度,又保证了测量结果的显示范围(0.100Hz - 9.99MHz)。

量程自动转换的过程由频率计测量量程的高端开始。由于只显示3位有效数字,在测量量程的高

端计数闸门不需要太宽,例如在10.0KHz - 99.9KHz频率范围,计数闸门宽度为10ms即可。频率计每个工作循环开始时使用计数方法实现频率测量,并使计数闸门宽度为最窄,完成测量后判断测量结果是否具有3位有效数字,如果成立,将结果送去显示,本工作循环结束;否则将计数闸门宽度扩大10倍,继续进行测量判断,直到计数闸门宽度达到1s,这时对应的频率测量范围为100Hz - 999Hz。如果测量结果仍不具有3位有效数字,频率计则使用定时方法实现频率测量。定时方法测量的是待测信号的周期,这种方法只设一种量程,测量结果通过浮点数运算模块将信号周期转换成对应的频率值,再将结果送去显示。这样无论采用何种方式,只要完成一次测量即可,频率计自动开始下一个测量循环,因此该频率计具有连续测量的功能,同时实现量程的自动转换。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 信号预处理电路

频率计信号预处理电路如图3所示,它由四级电路构成。第一级为零偏置放大器,当输入信号为零或者为负电压时,三极管截止,输出高电平;当输入信号为正电压时,三极管导通,输出电压随着输入电压的上升而下降。零偏置放大器把如正弦波样的正负交替波形变换成单向脉冲,这使得频率计既可以测量任意方波信号的频率,也可以测量正弦波信号的频率。放大器的放大能力实现了对小信号的测量,本电路可以测量幅度0.5V的正弦波或脉冲波待测信号。三极管应采用开关三极管以保证放大器具有良好的高频响应。第二级采用带施密特触发器的反相器7414,它用于把放大器生成的单向脉冲变换成与TTL/CMOS电平相兼容的方波。第三级采用十进制同步计数器74160,第二级输出的方波加到74160的CLK,当从74160的TC输出可实现10分频(多个74160的级连可以进一步扩展测频范

围)。第四级同样采用十进制同步计数器 74160, 第三级输出的方波加到它的 CLK, 从它的 Q<sub>0</sub> 输出即可实现 2 分频, 且其输出为对称方波, 方波宽度等于待测信号的周期, 从而为测量信号周期提供基础。

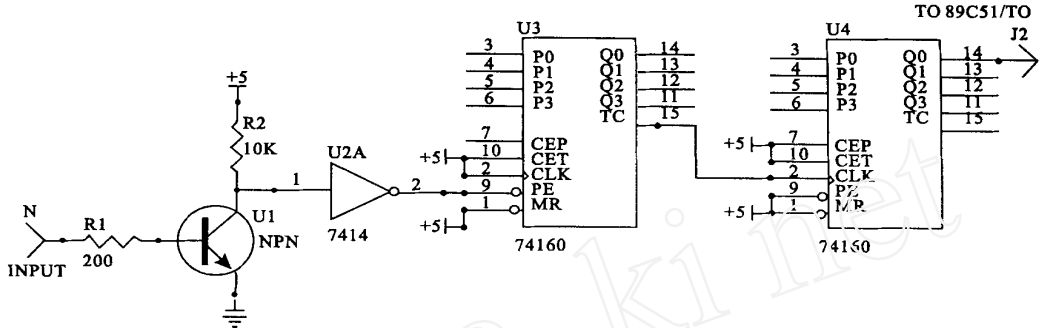


图 3 信号预处理电路

## 2.2 单片机

频率测量电路选用 89C51 作为频率计的信号处理核心。89C51 包含 2 个 16 位定时/计数器、1 个具有同步移位寄存器方式的串行输入/输出接口和 4K × 8 位片内 FLASH 程序存储器。16 位定时/计数器用于实现待测信号的频率测量或者待测信号的周期测量。同步移位寄存器方式的串行输入/输出接口用于把测量结果送到显示电路。4K × 8 位片内 FLASH 程序存储器用于放置系统软件。89C51 与具有更大程序存储器的芯片管脚兼容, 如: 89C52 (8K × 8 位) 或 89C55 (32K × 8 位), 为系统软件升级打下坚实的物质基础。

## 2.3 数据显示电路

显示电路采用静态显示方式。频率测量结果经过译码, 通过 89C51 的串行口送出。串行口工作于模式 0, 即同步移位寄存器方式。这时从 89C51 的 RXD(P3.0) 输出数据, 送至串入并出移位寄存器 74164 的数据输入口 A 和 B; 从 TXD(P3.1) 输出时钟, 送至 74164 的时钟输入口 CP。74164 将串行数据转换成并行数据, 进行锁存。74164 输出的 8 位并行数据送至 8 段 LED, 实现测量数据的显示。使用这种方法主程序可不必扫描显示器, 从而单片机可以进行下一次测量。这种方法也便于对显示位数进行扩展。

# 3 系统软件设计

## 3.1 数据处理过程

在频率计开始工作, 或者完成一次频率测量, 系统软件都进行测量初始化。测量初始化模块设置堆

栈指针 (SP)、工作寄存器、中断控制和定时/计数器的工作方式。

定时/计数器的工作首先被设置为计数器方式, 即用来测量信号频率。在对定时/计数器的计数寄

寄存器清 0 后, 置运行控制位 TR 为 1, 启动对待测信号的计数。计数闸门由软件延时程序实现, 从计数闸门的最小值开始, 也就是从测量频率的高量程开始。计数闸门结束时 TR 清 0, 停止计数。计数寄存器中的值通过 16 进制数到 10 进制数转换程序转换为 10 进制数。对 10 进制数的最高位进行判别, 若该位不为 0, 满足测量数据有效位数的要求, 测量值和量程信息一起送到显示模块; 若该位为 0, 将计数闸门的宽度扩大 10 倍, 重新对待测信号的计数, 直到满足测量数据有效位数的要求。

当上述测量判断过程直到计数闸门宽度达到 1s, 这时对应的频率测量范围为 100Hz - 999Hz, 如果测量结果仍不具有 3 位有效数字, 频率计则使用定时方法测量待测信号的周期。定时/计数器的工作这时被设置为定时器方式, 在对定时/计数器的计数寄存器清 0 后, 判断待测信号的上跳沿是否到来。待测信号的上跳沿到来后, 置运行控制位 TR 为 1, 以单片机工作周期为单位, 启动对待测信号的周期测量。然后判断待测信号的下跳沿是否到来, 待测信号的下跳沿到来后, 运行控制位 TR 清 0, 停止计数。16 位定时/计数器的最高计数值为 65535, 这样在待测信号的频率较低时, 定时/计数器将发生溢出。当产生定时/计数器将溢出, 程序进入定时器中断服务程序, 中断服务程序对溢出次数进行计数。待测信号的周期由 3 个字节组成: 定时/计数器溢出次数、定时/计数器的高 8 位和低 8 位。

信号的频率  $f$  与信号的周期  $T$  之间的关系为:

$$f = 1 / T$$

完成信号的周期测量后, 需要做一次倒数运算才能获得信号的频率。为提高运算精度, 这里采用浮点

数算术运算。浮点数用3个字节组成,第一字节最高位为数符,其余7位为阶码;第二字节为尾数的高字节;第三字节为尾数的低字节。待测信号周期的3个字节定点数首先通过截取高16位、设置数符和计算阶码转换为上述格式的浮点数。然后浮点数算术运算对其进行处理,获得用浮点数格式表达的信号频率值。

浮点数到BCD码转换模块把用浮点数格式表达的信号频率值变换成本频率计的显示格式,送到显示模块显示待测信号的频率值。无论从哪一种方式进入显示模块,完成显示后,频率计都开始下一次信号的频率测量。

### 3.2 系统软件框图

系统软件设计采用模块化设计方法。整个系统由初始化模块、显示模块和信号频率测量模块等各种功能模块组成(见图4)。上电后,进入系统初始化模块,系统软件开始运行。在执行过程中,根据运行流程分别调用各个功能模块完成频率测量、量程自动切换、周期测量和测量结果显示。

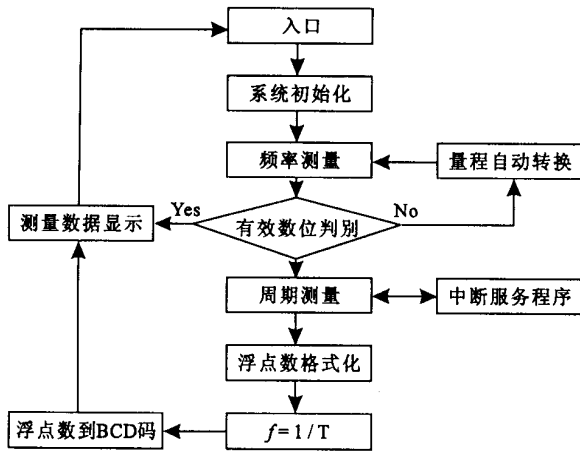


图4 系统软件流程图

### 3.3 浮点数学运算程序

8031系列单片机属于微控制器,由于其CPU字长和指令功能的限制,它适用于控制领域,在信号处理方面不很擅长。在本频率计中需要完成周期到频率的换算,为保证测量结果的准确,这里应用了浮点数数学运算。从周期到频率的换算过程包括:3字节定点数到浮点数的转换、浮点数数学运算和浮点数到BCD码的转换。由于通过多次的转换,整个换算过程精度还不是很很高,通过实测,精度大约为千分之二左右。

## 4 实测结果和误差分析

为了衡量这次设计的频率计的工作情况和测量精度,我们对系统进行了试验。以南京电讯仪器厂制造的E312B型通用计数器为基准,用这次设计的频率计对信号源进行了测量,测量数据如表1所示。

表1 频率测量对比表

E312B 频率 测量值(Hz)	5.00M	500K	50.0K	5.00K	500	50.0	5.00	0.500
制作频率计 测量值(Hz)	5.01M	500K	50.0K	5.01K	501	50.0	5.02	0.502

如图3信号预处理电路所示,待测信号在进入单片机之前经过了10×2次分频。频率计以进入单片机时的信号频率等于100Hz为基准,既待测信号频率等于2KHz为基准,大于此频率采用频率测量,小于此频率采用周期测量。由表1频率测量对比表可以看出,频率测量的测量精度大于周期测量的测量精度。

采用计数法实现频率测量,误差来源主要有计数误差和闸门误差两部分。误差表达式为

$$d f / f = | d N / N | + | d t / t |$$

这里N为计数值,t为闸门时间。闸门时间相对误差dt/t主要取决于晶振的频率稳定度,选择合适的石英晶体和振荡电路,误差一般可小于10<sup>-6</sup>。当仅显示3位有效数字时,该项误差可以忽略。对于dN/N部分,无论闸门时间长短,计数法测频总存在1个单位的量化误差。在表1中,待测信号频率大于2KHz时的误差就来源于计数误差。增加显示的有效数字位数可降低该项误差的影响。

当待测信号频率小于2KHz时,直接测量的是信号的周期。周期测量的误差表达式为:

$$d T / T = | d N / N | + | d o / o |$$

这里dN/N为量化误差,d o/ o为晶振的频率稳定度。在进行周期测量时进入单片机的信号频率小于100Hz,使用12MHz时钟这时的最小计数值为10000。当仅显示3位有效数字时,该项误差现在也可以忽略。待测信号的周期测量值通过浮点数数学运算变换成频率值,这时的误差来源于浮点数数学运算和数制之间的转换所带来的误差。

(下转72页)

参 考 文 献

- [1] 程守洙,江之永主编.普通物理学(第5版)[M].北京:高等教育出版社,1998.
- [2] 程守洙,江之永主编.普通物理学(1982年修订本)[M].北京:高等教育出版社,1982.
- [3] 马文蔚改编.物理学(第4版)[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [4] 马文蔚改编.物理学(第3版)[M].北京:高等教育出版社,1993.
- [5] 吴百诗主编.大学物理(修订本)[M].西安:西安交通大学出版社,1994.
- [6] 阎金铎等编写.普通物理教学手册[M].北京:北京师范大学出版社,1984.
- [7] 祝之光编写.物理学[M].北京:高等教育出版社,1988.
- [8] 张学恭主编.物理学[M].西安:西安交通大学出版社,1996.
- [9] 张三慧主编.大学物理学(第2版)力学[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [10] 倪光炯等编.改变世界的物理学(第2版)[M].上海:复旦大学出版社,1999.
- [11] 向义和编著.大学物理导论[M].北京:清华大学出版社,1999.
- [12] 中学物理教师手册[M].上海:上海教育出版社,1983.

On conditions of mechanical energy conservation

WU Heng-de

(Department of Basic Courses ,Xi 'an University of Post and Telecommunications ,Xi 'an 710061 ,China)

**Abstract :** After comparing the different explanations of the conditions of mechanical energy conservation in some text - books ,according to the principle of making concept clear ,this paper proposes suggestion of how to teach this problem in class.

**Key words :**mechanical energy ;conditions of conservation ;external force ;nonconservative internal force

(上接 34 页)

5 结束语

本文介绍了一种基于单片机 89C51 制作的频率计的设计方法 ,所制作的频率计需要外围器件较少 ,适宜用于嵌入式系统。该频率计应用周期测量和相应的数学处理实现低频段的频率测量 ,因此很容易扩展实现信号的周期测量和占空比测量。该频

率计被应用于笔者设计的“ 高频实验装置 ”之中 ,用来对 LC 振荡器和 RC 振荡器输出信号的频率稳定度进行测量 ,取得良好的应用效果。

参 考 文 献

- [1] 周航慈著.单片机应用程序设计技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1991.
- [2] 李华等编著.MCS - 51 系列单片机实用接口技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1993.

The design of the cymometer based on the microcontroller

HE Jian-guo ,L IU Li-xin ,DANG Jian-hua

(Department of Electronic and Informatics Engineering ,Xi 'an University of Post and Telecommunications ,Xi 'an 710061 ,China)

**Abstract :** In this paper ,an intelligent cymometer based on a microcontroller is designed. By making full use of the processor 89C51 ,it can switch automatically among different ranges to meet the needs for high accuracy and short measuring time.

**Key words :**measure of frequency ;microcontroller ;data process