

基于 STM32 等精度测频的光信号检测装置设计与验证*

曹毅成¹, 梁英^{1,2}, 胡鸿志¹, 郭庆¹, 许睿²

(1. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004;

2. 桂林电子科技大学 生命与环境科学学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 基于 STM32 采用等精度测频方法设计了一种可用于光信号检测的装置。该装置由供电模块、光转频模块、频率测量模块和数据显示模块组成, 其中, 被测光信号在光转频模块中通过硅光电二极管 S1226-8BK 转成微弱电信号, 经放大和滤波处理后输入 AD650 转换成频率信号。频率测量模块使用 ARM Cortex-M3 内核 STM32F103RBT6 作为处理器, 结合一个 D 触发器, 对光转频模块输出的频率信号进行等精度测频, 测得的数据发送到上位机显示。实验结果表明, 本装置测得的频率信号均与光功率之间成很好的线性关系, 与示波器测量结果亦相吻合, 证明了本装置可对光信号进行准确检测。相对于常用的频率测量法, 本装置具有测量误差小的优点。

关键词: STM32; 等精度测频; 光信号

中图分类号: TP368.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)01-0031-03

Design and test of an optical signal monitoring equipment based on the STM32 using equal-precision frequency measuring method

Cao Yicheng¹, Liang Ying^{1,2}, Hu Hongzhi¹, Guo Qing¹, Xu Rui²

(1. School of Electronic Engineering and Automatization, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2. School of Life and Environmental Sciences, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: An optical signal monitoring equipment is designed based on the STM32 using equal-precision frequency measuring method. The equipment is made of a power module, an optical-frequency converting module, a frequency measurement module and a data display module. The optical signal is firstly converted into weak electrical signal by the silicon photodiode S1226-8BK, and then the electrical signal is enlarged, filtered and converted into frequency by the AD650. The frequency measurement module is equipped with STM32F103RBT6 chip based on the ARM Cortex-M3 and a D flip-flop. The frequency outputted from the optical-frequency converting module could be detected using equal-precision frequency measuring method. The data would be transmitted to the host computer and displayed. The results testify that the equipment could accurately detect optical signals. Compared with the general frequency measurement, the measuring error of this system would be smaller.

Key words: STM32; equal-precision frequency measuring; optical signal

随着环境保护呼声的日益高涨, 实时、在线、小型便携和可用于现场监测是未来环境监测仪器的主流发展方向^[1-2]。近年来, 越来越多的科技工作者致力于研究小型便携的专用光度计^[3-6], 其中, 常选用硅光电二极管、压转频芯片将光信号转为频率信号, 因此, 如何准确测量频率信号, 关系到这些便携式仪器的准确性。常用的

频率测量方法有频率测量法和周期测量法^[7]两种。频率测量法是在设定时间 t 内计数被测信号的脉冲数 N , 因此被测信号 $F=N/t$ 。周期测量法是先测量出被测信号的周期 T , 然后根据频率 $F=1/T$ 算出被测信号的频率。这两种方法均会产生 ± 1 个被测脉冲的误差, 在实际应用中, 频率测量法适合于高频信号测量, 而周期测量法适合于低频信号测量, 二者不能兼顾高低频率同样精度的测量要求^[8]。

* 基金项目: 国家自然科学基金 (41206077)

等精度测频技术又称为多周期同步测量技术,其原理如图1所示。其中, F_0 为参考脉冲信号,由测频装置产生; F_x 为待测频率信号。测量时,采用两个计数器分别对待测信号 F_x 和参考信号 F_0 进行同步计数,计数的开始和结束由闸门控制。在测量计数闸门时间 T_x 内,若两计数器测得 F_x 和 F_0 的对应的脉冲数分别为 N_x 和 N_0 ,那么 $N_x/F_x=N_0/F_0$,则 $F_x=(N_x \times F_0)/N_0$,其中 F_0 是已知的参考脉冲信号,因此,读出计数器寄存器中 N_0 和 N_x 值便可计算出 F_x 。由于测量计数闸门时间 T_x 是在被测信号 F_x 同步下产生的,因此对被测信号的计数 N_x 将不会产生 ± 1 计数误差^[9]。当给定的参考脉冲信号恒定时,等精度测频误差较小,具有测频准确的优点。因此,本文拟基于STM32等精度测频原理设计一种光信号检测的装置并进行验证。

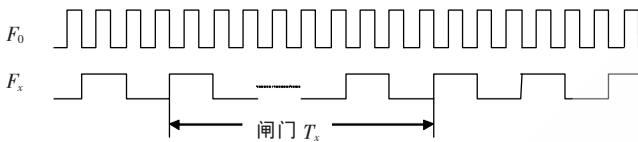


图1 等精度测频原理图

1 设计与实现

1.1 装置组成

本文设计的光信号检测装置如图2所示,包括供电模块、光转频模块、频率测量模块和数据显示模块。该装置中,被测光信号通过硅光电二极管S1226-8BK转成微弱电信号,经放大和滤波处理后输入AD650压频转换芯片转换成频率信号 F_x 。测频模块由STM32单片机及其外围电路外加一个D触发器组成,利用STM32自带的通用定时器2(TIM2)配置成脉宽调制(PWM)输出模式,产生标准方波脉冲 F_0 ,通用定时器3(TIM3)对 F_0 进行计数,高级定时器1(TIM1)对待测脉冲 F_x 进行计数。采用一个D触发器做门控开关,使TIM1和TIM3同时在 F_x 的某一上升沿开启,第 N_x 个上升沿关闭,实现等精度频率测量。经运算处理后把数据发送到上位机显示。整个装置所需的+3.3 V、+5 V、 ± 15 V几路电压均由电源模块提供。

1.2 光转频模块

通常,在对光信号进行测量时,一般利用光电探测器将光信号转换为微弱电信号,微弱电信号被放大后通

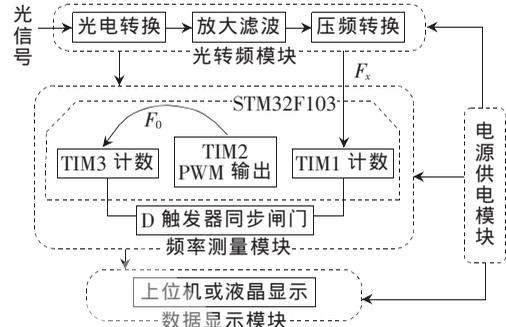


图2 装置组成框图

过A/D转换或者压频转换成数字信号后输送至单片机进行处理。本装置采用响应快、灵敏度高、性能稳定、测量线性好、噪声低的日本滨松集团生产的硅光电二极管S1226-8BK将光信号转为微弱电流信号,经后续几个运算放大器处理成稳定的直流电压信号,最后用压转频芯片转为频率信号。光转频电路原理图如图3所示,硅光电二极管把光信号转换成微弱电流信号 I_d ,通过AD795进行放大并转成电压信号 V_{out} , $V_{out}=I_d R_1(1+R_3/R_2)$,采用AD706双通道运算放大器,一个通道进行电压跟随以提高带负载能力,另一个通道搭接成压控电压源二阶低通滤波电路,滤除工频及其他杂波而得到直流信号,最后通过AD650进行压频转换得到频率信号 F_x 。

光转频模块采用的AD795是一款低噪声、精密、FET输入运算放大器。它既具有双极性输入运算放大器的低电压噪声和低失调漂移,又具有FET输入器件的极低偏置电流。其最大输入偏置电流仅2 pA,最大失调电压为500 μ V。AD706是一款双通道、低功耗、双极性运算放大器,通道1用来实现电压跟随,通道2用来做二阶压控有源滤波。AD650工作频率高,V/F变换工作频率可达1 MHz;其非线性度低,满度输出频率为100 kHz时,非线性度仅0.005%。

1.3 频率测量模块

本装置基于STM32的定时器,结合一个D触发器实现等精度频率测量。STM32F103RBT6芯片具有一个高级定时器(TIM1)和3个通用定时器(TIM2~TIM4)。在本设计中,把TIM2配置成PWM输出模式产生基准脉冲 F_0 ,

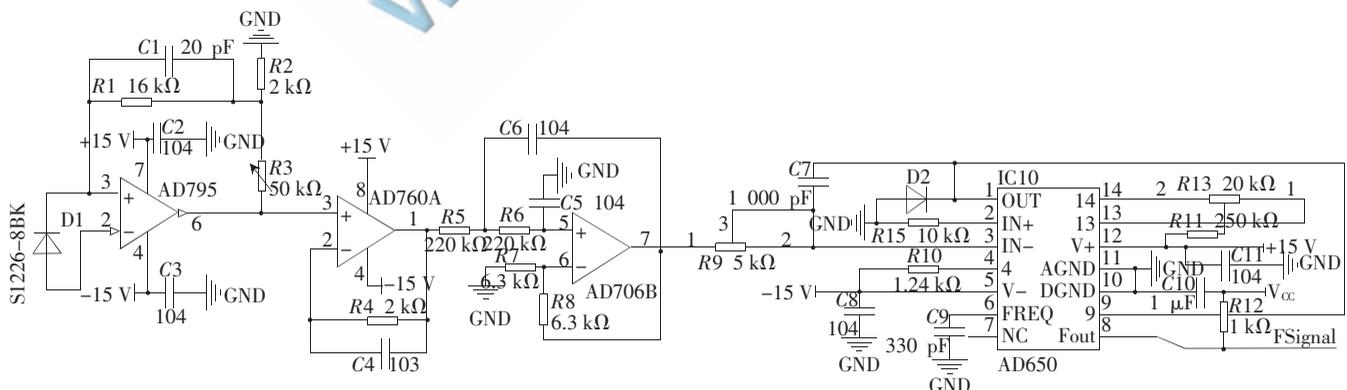


图3 光转频模块电路原理图

其频率可在 0~72 MHz 范围内配置,本检测装置配置成 1 MHz。把 TIM3 配置成计数器模式,选中触发(TRGI)的上升沿作为计数器时钟,即当输入通道引脚上的 F_0 脉冲来一个上升沿计数值加(或减)1。高级定时器 TIM1 的配置方法与 TIM3 类似,TIM1 计数 F_x 。

定时器与 D 触发器连接示意图如图 4 所示,被测信号 F_x 既是 TIM1 输入信号又作为 D 触发器的时钟信号,可使闸门开和关都在 F_x 的上升沿,保证了 TIM1 计数 F_x 脉冲数的精准性。TIM1 的进位输出通过取反后接到 D 触发器的输入再到定时器的使能端,使 TIM1 和 TIM3 既能同时开启又能同时关闭。整个过程可以这样来表述:最初,TIM1 计数前,进位输出 Cout 为 0,取反变为 1 后传给 D 触发器的输入端,D 触发器输出 1 使能两个定时器,把闸门打开,TIM1 和 TIM3 开始计数,待 TIM1 计满或计到设定值时便产生进位输出 1(或标志位置 1),取反后变为 0 输给 D 触发器,此时,D 触发器输出 0 使能两个定时器,闸门关闭,TIM1 和 TIM3 结束计数。读取此时的两计数器寄存器中的计数值,按 $F_x=(N_x \times F_0)/N_0$ 进行运算便可得出待测频率值 F_x 。

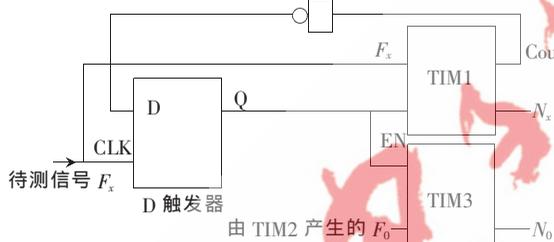


图4 定时器与D触发器连接示意图

本装置的测频软件流程如图 5 所示。



图5 测频软件流程图

1.4 数据显示模块

为了方便,在本装置中用串口向上位机发送数据并直接用串口调试助手在上位机串口打印。在实际例子或产品中可改为液晶屏或其他方式显示。

1.5 电源模块

本装置中使用的 AD795、AD706 以及 AD650 的供电电源为 ± 15 V。本装置利用 MAX743 芯片将笔记本的 USB 口 +5 V 转化成 ± 15 V 电压供电。原理图如图 6 所示。STM32 芯片所需的 +3.3 V 电压,利用一片 AMS1117-3.3 将 USB 口 +5 V 转化为 3.3 V 供电。

2 实验验证

2.1 本装置与示波器测频结果对比

利用 STM32 单片机上的定时器在 1 kHz~26 MHz 范

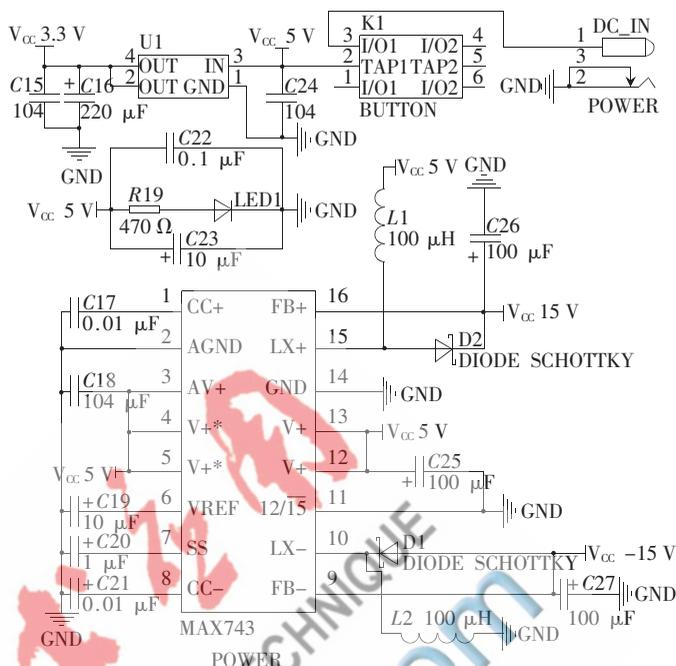


图6 电源模块主要部分原理图

围内产生 33 个不同频率的脉冲作为待测信号 F_x ,用 Tektronix TBS1012B-SC 示波器和本装置分别对 F_x 进行测量,结果如图 7 所示。图 7 表明,本装置测量值与示波器测量值呈现出很好的线性关系,线性回归方程的相关系数 R 值为 1,斜率为 0.998 9,说明本装置对频率信号测得值与示波器测得值相吻合。可见,采用本装置测量 1 kHz~26 MHz 范围的频率信号是准确的。

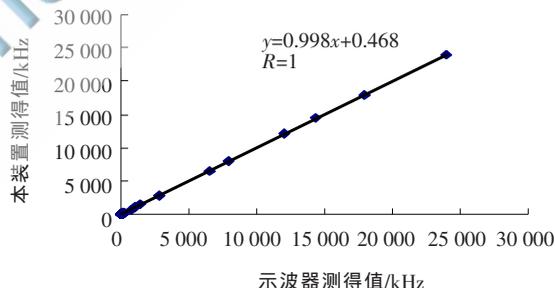


图7 本装置测量值与示波器测量值的关系

2.2 本装置对光信号的测量

为了考察本装置对光信号测量的准确性,本研究选用中心波长分别为 630 nm、520 nm 和 390 nm 的 LED 光源提供不同波长的测量光信号,通过滑动串联的变阻器改变接入电路中的阻值改变 LED 输出光信号强度。本研究采用光功率值大小表征光信号强度,LED 输出光功率利用 OPT-1A 功率指示计测量。采用本装置和示波器测定不同光功率下的光输出信号,结果如表 1 所示。表 1 表明,对所测量的 3 种波长光信号,示波器和本装置对光信号的测得值均与光信号呈现出很好的线性关系,且两者的斜率比非常接近 1.0,说明本装置用于实际光

信号的测量,测得的频率信号可线性地反映光强度大小,且测得值与示波器测得值无显著差异。

表 1 不同光信号测量结果

| 光信号 波长/nm | 光功率 /mW | 本装置测量频率 与光功率关系 | 示波器测得频率值 与光功率的关系 | 斜率比 | 频率范围 /kHz |
|--------------|------------|--|--|--------|--------------|
| 630 | 21~440 | $y=1.9845x-10.635$ ($R=0.9994, n=29$) | $y=1.984x-10.597$ ($R=0.9995, n=29$) | 1.0002 | 40~860 |
| 520 | 1~79 | $y=1.5048x-3.9123$ ($R=0.9909, n=12$) | $y=1.507x-3.9247$ ($R=0.9911, n=12$) | 0.9985 | 0.9~125 |
| 390 | 0~13 | $y=126.79x-44.826$ ($R=0.9919, n=10$) | $y=126.74x-44.668$ ($R=0.9918, n=10$) | 1.0004 | 40~1000 |

本文基于 STM32 等精度测频原理设计了一种光信号检测装置并进行了验证。该装置对 1 kHz~26 MHz 范围内的不同频率信号进行测量,与示波器测得值完全吻合。本装置对中心波长为 630 nm、520 nm 和 390 nm 的 LED 光源发出的光信号为测量的结果与光功率(强度)成很好的线性关系(相关系数 $R>0.99$)。本装置可对光信号进行准确检测,相对于常用的频率测量法,具有测量误差小的优点。本文提出的光信号检测方法有利于提高便携式光学仪器的测量准确度,在便携式光学仪器上具有潜在的应用价值。

参考文献

- [1] PRIEN R D. The future of chemical in situ sensors[J]. Marine Chemistry, 2007, 107(3): 422-432.
- [2] MILLS G, FONES G. A review of in situ methods and sensors for monitoring the marine environment[J]. Sensor Review, 2012, 32(1): 17-28.
- [3] MOORCROFT M J, DAVIS J, COMPTON R G. Detection and determination of nitrate and nitrite: a review[J]. Talanta, 2001, 54(5): 785-803.
- [4] TIMMER B, OLTHUIS W, VAN DEN BERG A. Ammonia sensors and their applications—a review[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 107(2), 666-677.
- [5] AMORNTHAMMARONG N, ZHANG J Z, ORTNER P B. An autonomous batch analyzer for the determination of trace ammonium in natural waters using fluorometric detection[J]. Analytical Methods, 2011, 3(7), 1501-1506.
- [6] 章臻. 循环冷却水中水处理剂在线监测方法的建立及相应仪器的研发[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [7] 夏振华. 等精度频率计的实现[J]. 电子设计工程, 2010, 18(6): 177-178, 182.
- [8] 莫琳. 基于 FPGA 的等精度频率计的设计与实现[J]. 现代电子技术, 2004(10): 81-82, 84.
- [9] 乔长安, 陈运涛, 张富平, 等. 等精度频率测量方法[J]. 火力与指挥控制, 2003(S1): 61-62, 65.

(收稿日期: 2013-09-05)

作者简介:

曹毅成, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 仪器仪表与技术。

梁英, 女, 1975 年生, 博士, 博士后, 教授, 主要研究方向: 环境监测仪器技术。