

基于 FPGA 与单片机的等精度频率计的设计

李国利, 刘旭明, 翟力欣

(金陵科技学院 机电工程学院, 江苏 南京 211169)

摘要: 根据等精度测量原理, 设计了一种基于 FPGA 和单片机的等精度频率计。系统主要包括信号预处理电路、单片机控制电路、FPGA 测频电路和显示电路等。被测频率信号和标准频率信号经过整形放大处理后输入 FPGA, 单片机控制 FPGA 对两路信号进行计数并读取测频数据, 单片机将读取的测频数据经过运算处理后显示。测试结果表明, 该频率计实现了整个频率测量范围内的测量精度相等, 测量精度高, 稳定性好。

关键词: 频率计; 等精度; FPGA; 单片机

中图分类号: TN492

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2013)22-0171-03

Design of equal precision cymometer based on FPGA and SCM

LI Guo-li, LIU Xu-ming, ZHAI Li-xin

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: According to the principle of equal precision measurement, a cymometer was designed based on FPGA and single-chip microcomputer. This system was mainly composed of the signal amplification shaping circuit, single-chip microcomputer control circuit, FPGA frequency measurement circuit and the signal display circuit. After amplification and rectification, the signal to be measured and the standard signal were input into FPGA. Two signals were counted in FPGA and controlled by single-chip microcomputer. After received the measuring frequency data, single-chip microcomputer calculated and processed it, and the result of measure was shown. The experiments show that, the cymometer has equal measurement accuracy within the whole frequency measuring range, and it has the advantages of high measuring precision and good operation stability.

Key words: cymometer; equal precision; FPGA; SCM

频率测量是电子测量技术中最基本的测量之一。工程中很多测量, 如用振弦式方法测量力、时间测量、速度测量、速度控制等, 都涉及到频率测量, 或可归结为频率测量^[1]。近年来, 高精度频率测量仪器在电子技术领域中得到了越来越广泛的应用。

传统的测频方法主要有直接测频法、测周法和组合法^[2-3]。直接测频法是通过测量闸门时间内被测信号的脉冲数来计算被测信号频率。由于闸门时间通常不是被测信号周期的整数倍, 因此存在最大 ± 1 的被测信号脉冲误差, 一般只能在信号频率较高时采用。测周法是通过测量被测信号的周期求得其频率, 在被测信号的一个周期内也存在最大 ± 1 的标准信号脉冲误差, 一般在信号频率较低时采用^[4]。组合法是将直接测频法与测周法相组合, 频率计分高低频两个频段量程, 若被测信号频率处于高频段则采用直接测频法, 若被测信号频率处于低频段则采用测周法测量。组合法频率计测量系统比较复杂。

频率测量要求精度较高时, 可采用等精度频率测量法。其方法是: 采用频率精确的高频信号作为标准频率信号, 保

证测量的闸门时间为被测信号周期的整数倍, 并在闸门时间内同时对标准信号脉冲和被测信号脉冲进行计数, 实现整个频率测量范围内的测量精度相等, 当标准信号频率很高, 闸门时间也足够长时, 就可实现高精度的频率测量^[4]。近年来, 有关等精度频率测量方法的研究与实践越来越受到关注^[5-6]。文中设计了一种基于 FPGA 和单片机的等精度频率计, 系统以 FPGA 构建数字逻辑平台, 以单片机为数据处理控制器, 测频范围为 1Hz~100 MHz。

1 系统组成

等精度频率计组成框图如图 1 所示。单片机选用 AT89C51, 通过 P0 口、P2 口与 FPGA 测频器件相连, P2 口向 FPGA 发出控制命令, P0 口读取测频数据。单片机电路模块用于控制 FPGA 的测频操作和读取测频数据, 并将读取的测频数据处理后交由显示器显示。系统显示器采用 1602LCD。信号预处理电路用来完成待测信号的前端处理, 以便作为 FPGA 的输入信号。测频电路采用 FPGA 器件, 是测频核心电路模块, 采用 50 MHz 频率信号作为标准频率信号。

收稿日期: 2013-04-15

稿件编号: 201304182

基金项目: 金陵科技学院青年教师科研基金项目(JIT-B-201220)

作者简介: 李国利(1973—), 男, 山东滨州人, 硕士, 副教授。研究方向: 自动化检测技术。

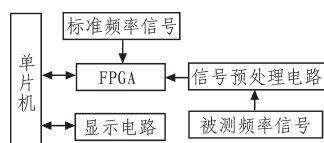


图1 等精度频率计组成框图

Fig. 1 The basic composition diagram of the cymometer equal precision

2 系统设计

2.1 信号预处理电路

本设计中被测频率信号和标准频率信号采用相同的信号预处理电路。信号预处理电路如图2所示,电路包括3部分:放大电路、整形电路和分频电路。

放大电路采用零偏置开关三极管,能够将正负交替的波形信号转换成单向脉冲信号。整形电路采用施密特触发器,被测频率信号和标准频率信号整形电路的施密特触发器门限电平相等,以确保不出现因相位差带来的测量误差。分频电路采用两级同步十进制计数器74160,第一级74160可实现十分频,从第二级74160的QA和RCO端输出可分别实现信号的20分频和100分频。

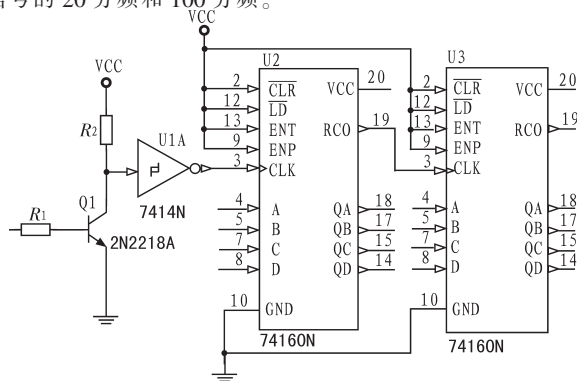


图2 信号预处理电路图

Fig. 2 Circuit diagram of signal preprocessing

2.2 测频电路

FPGA器件通过编程,在芯片内部可以实现高速、宽范围的测频。本测频电路FPGA芯片选用ALTERA公司Cyclone系列的EP1C3T144,并采用专用配置芯片EPCS1,用ByteBlaster II进行下载编程。EP1C3T144是测频电路的核心芯片,设计中的测试模块、控制模块、计数模块以及频率选择模块的VHDL程序都下载到EP1C3T144中进行调试。

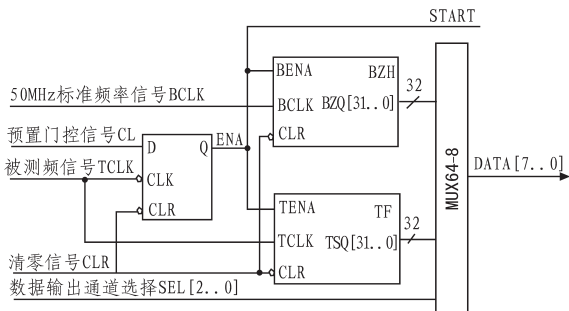


图3 FPGA测频模块结构

Fig. 3 FPGA frequency measurement module structure

FPGA测频模块结构如图3所示。单片机的P0口与数据DATA[7..0]端口连接,用于读取测频数据。SEL[2..0]与单片机端口P2.2、P2.1和P2.0相接,用于控制多路通道的数据选择。单片机P2.3、P2.4、P2.5分别接START、CLR、CL信号端。标准频率信号由BCLK输入,被测频率信号由TCLK输入,计数器BZH和TF是32位二进制计数器,两个计数器分别对两路信号脉冲进行计数,之后送入多路选择器MUX64-8,通过数据输出通道选择端控制选择两组数据的输出,再把32位数据由DATA[7..0]端输出。



图4 测频仿真波形图

Fig. 4 Frequency measurement simulation waveform

测频仿真波形图如图4所示。在进行等精度测频时,在CLR输入端加一正脉冲清0信号使BZH、TF计数器和D触发器清零,同时D触发器输出信号Q=0禁止两个计数器计数。单片机P2.5引脚向CL端发送预置门控信号,CL端接D触发器D信号输入端,当被测频率信号脉冲上升沿到来时通过D触发器的CLK端使D触发器Q置1,也就是使START=1,从而启动两个计数器BZH和TF分别对标准频率信号脉冲和被测频率信号脉冲计数,进入允许计数时间。经过Tpr秒后,单片机P2.5引脚将预置门控信号端CL置为低电平,然后等到此时之后被测频率信号脉冲上升沿到来时通过D触发器输出信号Q将计数器BZH和TF同时关闭。因此,允许计数时间总是等于被测频率信号周期的整数倍。计数结束的同时START端输出高电平信号通过P2.3送给单片机,单片机采集到该信号后,P0口通过DATA[7..0]读取所测量的计数值 N_x (被测频率信号脉冲数)和(标准频率信号脉冲数)。设被测频率信号和标准频率信号频率分别为 F_x 和 F_s 。因为

$$\frac{1}{F_x} N_x = \frac{1}{F_s} N_s$$

即

$$\frac{N_x}{F_x} = \frac{N_s}{F_s}$$

所以

$$F_x = \frac{F_s}{N_s} N_x \quad (1)$$

单片机根据读取的 N_x 和 N_s 值,通过公式(1)便可计算出被测频率信号的频率。

下面进行误差分析。由上可知,在一次测量中,两个计数器计数的起停时间是由被测信号的上升沿控制的,因此,在Tpr时间内对被测信号的计数无误差。在此时间内对标准信号的计数 N_s 最多相差一个脉冲,即 $|\Delta N_s| \leq 1$ 。由公式(1)得:

$$F_x = \frac{F_s}{N_s + \Delta N_s} N_x$$

则 $\Delta F_x = F_x - F'_x = N_x F_s \left(\frac{1}{N_s} - \frac{1}{N_s + \Delta N_s} \right)$

又 $N_x F_s = N_s F_x$, 所以

$$\frac{\Delta F_x}{F_x} = \frac{\Delta N_s}{N_s + \Delta N_s} \leq \frac{1}{N_s + 1} < \frac{1}{N_s} = \frac{1}{T_{pr} \cdot F_s} \quad (2)$$

由式(2)可以看出,被测信号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,即实现了整个频率测量范围的等精度测量。闸门时间越长,标准频率越高,测频的相对误差就越小。

2.3 系统软件设计

2.3.1 FPGA 测频部分

频率测量系统 FPGA 测频部分的主要程序按照 FPGA 的设计方法:自顶向下设计。优先设计实体部分,实现对标准信号和被测信号的测量。定义实体名为 etester,定义实体的引脚功能:标准频率时钟信号引脚 BCLK、被测频率时钟信号引脚 TCLK、预置门控信号输入引脚 CL、开始计数标志信号输出引脚 START、数据读出选择控制输入引脚 SEL 以及八位数据读出引脚 DATA。

频率测量系统的结构体可分成标准计数器和测频计数器。标准计数器的命名为 BZH,数据的输出为 BZQ。测频计数器命名为 TF,数据输出端为 TSQ,两组数据都是经过一个 64-8 多路选择器进行输出。当 SEL 输入为不同时,DATA 端就输出相应的数据。

2.3.2 单片机控制程序设计

单片机控制程序流程图如图 5 所示。系统初始化后,进行测频,先置测频控制位 CLR,将 FPGA 内的计数器清零,送 FPGA 的预置门控信号,被测信号脉冲上升沿到来时,FPGA 开始对标准频率信号和被测频率信号脉冲计数,计数定时开始,等计数定时时间到后,FPGA 向单片机发送 START 结束信号,单片机读到结束信号后,分八次将测频结果的两组 32 位数据读入单片机,计算后将结果转换为 BCD 码送 LCD 显示输出。

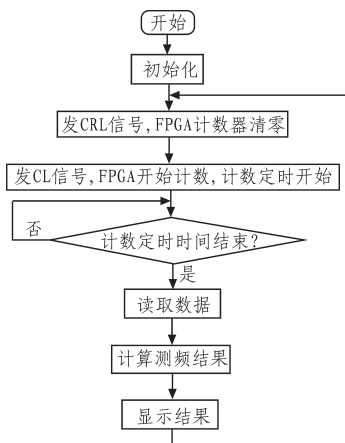


图 5 单片机控制程序流程图

Fig. 5 Flow chart of SCM control program

3 实验结果与分析

为了验证频率测量系统的测量精度,在不同等级的频率

下对频率测量系统进行了实验,预置门时间为 2 s,标准信号频率为 50 MHz。实验结果如表 1 所示。

表1 频率测量系统测量结果

Tab. 1 Experimental results of the system

序号	被测信号频率/Hz	频率测量结果/Hz	相对误差/%
1	100	99.999 290	0.000 710
2	500	499.996 46	0.000 708
3	1 000	999.992 90	0.000 710
4	10 000	9 999.929 0	0.000 710
5	100 000	99 999.290	0.000 710
6	1 000 000	999 992.96	0.000 704
7	5 000 000	4 999 963.8	0.000 724
8	10 000 000	9 999 930.1	0.000 699

从测量结果可以看出,所设计的等精度测频系统消除了频率测量中的 ± 1 误差,在整个测量范围内测量相对误差都在 7.3×10^{-6} 以内,可以满足高精度频率测量系统的精度要求。

4 结 论

本文中设计的等精度频率测量系统利用 FPGA 的高速、灵活特点,结合单片机的运算和控制功能可以快速准确测得信号的频率。系统不仅能够很好地对被测信号的频率进行测量,且由于 FPGA 的使用,实现了多通道频率测量,并可进一步整合可实现信号占空比测量和转速测量等功能。经过验证,只要提高晶振频率和精度就可以提高测频范围及精度,所测频率范围为 1Hz~100MHz,频率测量精度达到 10⁻⁵。因此,等精度测频法因为消除了对被测信号计数产生的 ± 1 误差,测量精度大大提高,不需要测量范围内修改量程就可以达到在整个频段的等精度测量。

参考文献:

- [1] 徐成,刘彦,李仁发,等.一种全同步数字频率测量方法的研究[J].电子技术应用,2004(7):37-39.
XU Cheng,LIU Yan,LI Ren-fa,et al. A study of complete synchronization methods about digital frequency measurement[J]. Application of Electronic Technique,2004(7):37-39.
- [2] 孙进才,朱维杰,孙轶源.正弦信号参数估计的最小二乘算法[J].哈尔滨工程大学学报,2005,26(1):19-23.
SUN Jin-cai,ZHU Wei-jie,SUN Yi-yuan,et al. Method of least squares of parameter estimation for sinusoidal signals[J]. Journal of Harbin Engineering University,2005,26(1):19-23.
- [3] 丁昕,李子健.基于8051单片机的频率测量技术[J].电子元器件应用,2007,9(8):31-33.
DING Xin,LI Zi-jian. Technology of frequency measurement based on 8051 SCM [J]. Electronic Component & Device Applications,2007,9(8):31-33.
- [4] 杨潇,翟玉文,艾学忠.基于CPLD和VHDL的等精度频率测量[J].吉林化工学院学报,2004,21(3):49-51.

(下转第 177 页)

接至正弦波调压模块的输出端,检查连接无误后打开系统开关,上电启动系统。首先按复位键,将输出清零,此时灯泡处于熄灭状态,之后连续按下“up”键将看到灯泡逐渐变亮,相反按下“down”键灯泡逐渐变暗直到完全熄灭。本步实验的目的是进行系统的功能验证,即验证本系统是否存在调压功能。本次试验结束后,将灯泡取下,将振动器连接至正弦波调压模块的输出端,本步实验的目的是定量测试系统调压功能是否具有线性特性。同样方法检查连接无误后上电启动系统,系统启动后按下复位键,将输出端电压清零。此时连续按下“up”键,使电压从 0 V 开始逐渐增大,然后反方向按下“down”键,使电压逐渐减小到 0 V,测试过程中使用万用表测量输出端电压和电流,并使用测振仪测量振动器的振动幅度,记录测量结果。本次试验反复测量 4 次,每次记录 37 次结果,将 4 次测量结果取平均值,并绘制电压、电流及对应振动幅度的变化趋势如图 8 所示。

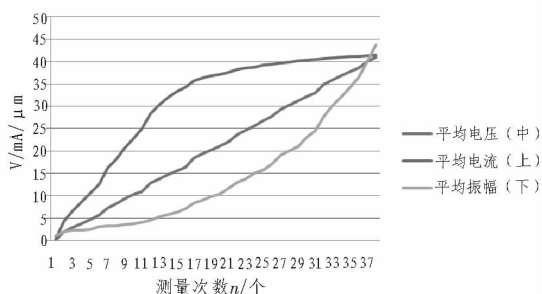


图 8 测量结果变化趋势图

Fig. 8 Interface chart of the test system

6 结 论

文中详细描述了基于 ARM 的数字调压控制系统的设计流程及实现方法,并进行了试验检测。通过第一步测试证明了本系统对电压调节控制的有效性,而第二步测试结果的变化趋势图表明,输出端电压呈明显线性变化,电流在线性增大到一定数值后变化趋缓。而在电压、电流的共同影响下振

动幅度呈指数上升趋势变化,由于受到测振仪的测量精度限制,5 微米以下振幅变化较缓,敏感度较低,5 微米以上振动幅度呈较明显线性上升变化趋势。

文中所述的数字调压控制系统可以实现理想的线性调压控制,具有调节精度高、速度快、易于操作使用等优点,在后期的改进中仍需要对调节误差进行控制,使精确度进一步增大。在应用控制软件上根据实际控制需求进行功能的扩展与优化。

参考文献:

- [1] 欧峰. 基于 ARM9 的嵌入式试验平台的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- [2] 竺乐庆, 张三元, 幸锐. 基于 ARM 与 WinCE 的掌纹鉴别系统[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(12): 2624-2628.
- ZHU Le-qing, ZHANG San-yuan, XING Rui. Palmprint identification system based on ARM and WinCE [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(12): 2624-2628.
- [3] AM335x ARM® Cortex™-A8 Microprocessors Technical Reference Manual[Z]. 德州仪器公司.
- [4] 沃尔瓦诺. 嵌入式微机系统: 实时接口技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 张晓雷, 陈晓宁, 郭剑. 嵌入式 Linux 下基于 SPI 总线的网络设备驱动设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(23): 6003-6005.
- ZHANG Xiao-lei, CHEN Xiang-ning, GUO Jian. Design and implementation of embedded Linux network device driver based on SPI bus [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(23): 6003-6005.
- [6] 周润景, 苏良碧. Cadence 高速电路板设计与仿真: 信号与电源完整性分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [7] Jasmin Blanchette, Mark Summerfield. C++ GUI Programming with Qt4, Second Edition[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.

(上接第 173 页)

YANG Xiao, ZHAI Yu-wen, AI Xue-zhong. Frequency measurement with constant-precision based on CPLD and VHDL [J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2004, 21(3): 49-51.

- [5] 陈凯. 基于等精度测频技术的汽轮机全范围转速测量[J]. 自动化表, 2012, 33(7): 59-62.
- CHEN Kai. Implementation of full range of turbine speed

measurement based on equal precision frequency measuring technology[J]. Process Automation Instrumentation, 2012, 33(7): 59-62.

- [6] 李德明. 等精度多功能数字频率计[J]. 电子世界, 2012(10): 115-116.
- LI De-ming. Equal precision multifunctional digital cymometer[J]. Electronics World, 2012(10): 115-116.

欢迎订阅 2014 年度《电子设计工程》(半月刊)

国内邮发代号: 52-142

国际发行代号: M2996

订价: 15.00 元/期 360.00 元/年

-177-