

文章编号:1007-2780(2016)03-0295-06

# 基于 Proteus 的全硬件 LED 数字电压表设计与仿真

朱清慧\*, 王志奎

(南阳理工学院 电子与电气工程学院, 河南 南阳 473004)

**摘要:** 为了加强和提高电子技术爱好者和电类学生的基础硬件设计能力, 本文设计了一种非编程控制、由全硬件电路构成的 LED 直流数字电压表。采用分模块的设计方法, 在 EDA 平台 Proteus 上, 按系统调试顺序, 分别对 A/D 转换模块、时钟模块、移位计数模块(二进制—BCD 转换模块)、复位/启动模块和 LED 显示模块进行了仿真设计。通过 Proteus 中模块化设计仿真与实物焊接、调试, 实现了设计任务要求。该数字电压表具有测量误差低、成本低廉和便于携带等特点。

**关键词:** 数字电压表; 全硬件; 分模块设计; LED 显示; Proteus 仿真

**中图分类号:** TN873+.5; TH89      **文献标识码:** A      **doi:** 10.3788/YJYXS20163103.0295

## Design and simulation of LED digital voltmeter with whole hardware circuit based on proteus

ZHU Qing-hui\*, WANG Zhi-kui

(School of Electronic and Electric Engineering, Nanyang Institute of Science and Technology, Nanyang 473004, China)

**Abstract:** In order to strengthen and improve the basic hardware design ability of electronic technology enthusiasts and electrical class, a LED digital voltage meter of directly current is designed in this paper, which is composed of whole hardware circuit without programmable control. The designing and analyzing method of the sub module is used to design and simulate every module according to the system debugging order on the EDA platform of Proteus. These modules are separately A/D conversion module, clock module, shift counter module(binary to BCD conversion module), start and reset module and LED display module. The system design task requirement is realized by designing and simulation on Proteus and by actual circuit welding and debugging with modules. This kind of voltmeter has the advantages with low measurement error, low cost and easy to carry and so on.

**Key words:** digital voltmeter; full hardware; sub module design; LED display; Proteus simulation

收稿日期:2015-11-02; 修订日期:2015-12-16.

基金项目:河南省重点教改项目(No. 2014SJGLX067)

Supported by Research and Practice of Virtual Experiment Teaching Reform of Electrical Information Course Under the Information Technology Environment(No. 2014SJGLX067)

\* 通信联系人, E-mail: ozhu@163.com



5 V 直流电源。为了在 Proteus 中模拟被测电压量,在 5 V 电源和 ADC0808 的参考接地端 VREF-之间接 5.1 kΩ 的滑动变阻器,把中间触头接到 ADC0808 的 IN7 端。利用两个滑动变阻器串联分压电路来实现 ADC0808 参考电源 VREF+ 为 4 V。固定 RV1 为最大电阻值,调节 RV2 使图 2 中电压表读数为 4 V。实际测量时,固定 RV2 不变,滑动 RV1 来模拟被测电压值。

(b)8 位数字量的输出(OUT1 为高位)接至移位计数单元。

(c)控制信号接线。ADC0808 控制端主要有 ALE、CLOCK、START、OE 和 EOC,前 4 个都是输入信号,最后一个为输出信号<sup>[4]</sup>。ALE 是锁存端,固定接高电平。CLOCK 必须接 100 kHz 左右的时钟信号 ADC 才能正常工作<sup>[5]</sup>,因此需要设计一个时钟模块电路。而 START 端则需要一个上升沿来启动 A/D 转换,用一个转换启动开关来控制即可。在 A/D 转换过程中,8 位数字量不会出现在 OUT1~OUT8 端线上,而是锁存在内部数据缓冲器中,转换结束后,EOC 变成高电平作为指示。但要打开缓冲器,必须给 OE 输入一个高电平,转换数据才输送到 ADC0808 的 OUT1-OUT8 端。因此,把 EOC 直接连到 OE 上。

### 2.2.2 时钟电路设计

选 555 定时器作为系统时钟模块的主要芯片,该时钟模块要产生两个交替时钟:一个 100 kHz 的时钟信号给 ADC0808,另一个低频输出时钟信号给移位计数模块。经过实际电路调试发现,在 100 kHz 的高频时钟作用下计数器不能工作。为了能够使用同一个时钟源,根据参数计算,通过开关选择交替输出两个频率即可。首先把 555 定时器接成一个多谐振荡器,根据输出端的频率计算公式  $f \approx \frac{1}{0.7(R_1 + 2R_2)C_1}$ <sup>[6]</sup>,固定  $R_1$  和  $R_2$  为 1 kΩ 不变,分别选择并联电容  $C_1$  和  $C_3$  为 0.047 μF 和 1 μF,如图 2(b)所示,当开关 K3 打开时,输出为高频时钟给 ADC;当 K3 合上时,输出低频时钟给移位计数电路。在选择元件参数时,要注意参数的数量级以及实际可用值。

### 2.2.3 Proteus 仿真

打开 Proteus ISIS,在时钟输出端接一示波器。按仿真运行按钮,先把 K3 断开,调整示波

器相应旋钮并读出时钟信号的周期。再把 K3 合上,调整示波器相应旋钮并读出时钟信号的周期。通过观察示波器波形和频率计算,得到了应有的频率。两个高、低频率的时钟波形如图 3 所示。

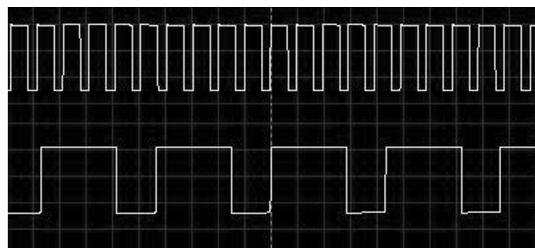


图3 Proteus 中示波器观察到的时钟波形

Fig. 3 Clock waveforms observed on oscilloscope in Proteus

在 Proteus ISIS 的 A/D 转换模块中,随意调节滑动变阻器 RV1 至一个固定位置。把时钟模块的时钟输出信号连接到 A/D 转换模块中 ADC0808 的 CLOCK 端,并确认时钟模块的 K3 处于断开状态。使 K1 先处于闭合状态,然后双击 K1 给 START 一个上升沿后使 K1 再回到闭合状态。在 100 kHz 时钟作用下,ADC0808 启动模/数转换,瞬间转换结束后,EOC 发出高电平给 OE 打开内部数据缓冲器,此时,在 ADC0808 的 8 位数据输出端可以观察到引脚上高低逻辑电平的表示(红色表示 1,蓝色表示 0),读出一组对应的 8 位数字量,与 Proteus 中虚拟电压表读数相核对,看转换数据是否正确。

### 2.3 移位计数模块

移位计数模块的设计是系统设计的难点和关键。主要考虑两点,一是怎样才能把 A/D 转换模块输出的 8 位数字量再次转换成可供 LED 显示的四位十进制数(单位为 mV);二是怎样保证转换后的十进制数与被测电压值正好相等。

对于第一点,设计一个二进制数到 BCD 码的转换电路即可把 ADC0808 输出的 8 位二进制数转换成十进制数,但是这个十进制数并不是被测电压的实际值,需要进一步转换。比如在图 2 中,当滑动变阻器 RV1 位于最上端时,Proteus 中电压表显示被测电压为 4 V,如果用四位 LED 显示应该为 4 000 mV,因此 4 000 是最终送给 LED 显示的值。启动 A/D 转换电路,读到 A/D 转换输出的数字量

为 1111,1111,而它对应的十进制数为 255,直接送给 LED 显示显然是错误的。而在前面的分析中提到,ADC0808 的分辨率是 0.016 V,即转换输出的每一个二进制数的最小单位代表 16 mV,如果把转换输出的每一个二进制数都乘以 16,即可还原被测电压值 4 000 mV。

通过以上仿真分析可以得出,应先设计一个二进制数到 BCD 的转换电路,再设计一个乘法电路,而乘法功能是可以 通过移位和加法电路来实现的。但为了简化掉乘法电路,在课题提出之初已把被测电压范围设为 0~4 V,巧妙地使 ADC0808 的分辨率正好为 16 mV,而 16 为  $2^4$ ,乘 16 可以通过左移四位来实现,省去了加法电路。进一步思考,还可省去移位电路。而二进制代码到 BCD 的转换电路是由二进制减计数电路和十进制加计数电路来共同完成的<sup>[7]</sup>,加、减计数器的时钟为同一时钟,来自时钟模块的低频时钟输出端。

二进制减计数器以 ADC0808 输出的数字量为计数初始值,在时钟作用下减到 0 应自动停止。另外有一个加计数器与减计数器同时启动、同时停止,以完成 BCD 码转换功能。举个例子,两个计数器好比两个篮子,减计数器里有一篮子鸡蛋,它每扔出一个,加计数器就捡回一个,当减计数器把鸡蛋全部扔完时,加计数器篮子里鸡蛋数量一定和减计数器原来篮子里的鸡蛋数量是相等的,这样,巧妙地完成了二进制到十进制数的转换。

BCD 转换之后的数乘以 16,或者先把转换之前的二进制数乘以 16 再进行 BCD 转换效果是一样的。选择后者可以进一步简化电路。ADC0808 输出的 8 位二进制数先左移 4 位,即变成了 12 位,也完成了乘 16 的功能。再把此 12 位数接至二进制数到 BCD 码的转换模块即可。

2.3.1 二进制减计数电路

选择可逆二进制计数器 74LS193 作为减计数器件(可以简化复位电路)。A/D 转换模块的数字量输出左移后变为 12 位,因此,共需三片 74LS193 级连才能实现 12 位数二进制减计数功能,输出端不使用。最低位 74LS193 的初始计数值设为 0000,中间的 74LS193 的初始值接 ADC0808 的低四位,最高位的 74LS193 接 ADC0808 的高四位。如图 4(b)所示,相当于把 ADC 输出的 8 位数字量左移 4 位即乘以 16 后接

到减计数的预置数端,因此省去了移位电路。

计数器的启动采用手动开关操作,当启动 ADC 后,便可同时启动加、减速计数器。启动的作用是给定计数器时钟和减计数的预装数信号,如图 4(a)所示。采用 JK 触发器输出端 Q 与计数时钟相与后作为最终的计数时钟,来控制计数器的启停。通过开关 K2 给 JK 触发器一个下降沿时钟,使其输出高电平,启动计数器。当减计数电路计到 0 时,高位 74LS193 的 TCD 端输出一个负脉冲,给 JK 触发器复位,切断计数时钟,使加、减计数器同时停止。减计数的预装数信号 PL 直接由 K2 提供。

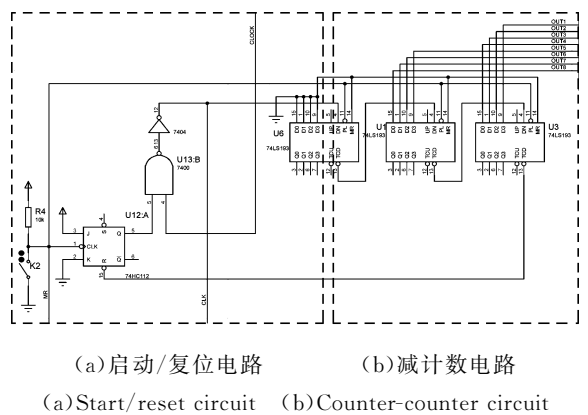


图 4 Proteus 中减计数及启动/复位模块

Fig. 4 Counter-counter and start/reset modules in Proteus

2.3.2 十进制加计数电路

十进制加计数电路由四片十进制计数器 74LS160 级连而成,输出接显示模块,如图 5 所示。74LS160 不需要预置数,从 0 开始计数,当减计数器减到 0 时,加计数器被停止计数,此时,它的输出保持不变,能够稳定地提供显示数据。加计数器的清零信号由 K2 控制,在启动时先清零,也同时清除了 LED 显示。由于每片 74LS160 都是十进制加计数器,通过由低到高的级连后,分别

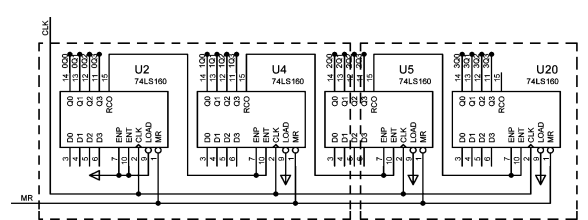


图 5 Proteus 中设计的加计数电路

Fig. 5 Add-counter circuit designed in Proteus

为个、十、百、千位,每个芯片的输出都是 BCD 码,可直接送给 LED 显示译码器。

2.4 LED 显示模块

显示模块电路相对比较简单,包括 LED 显示驱动译码器和数码管<sup>[8]</sup>。数码管要选带小数点的,如果是共阴极,译码芯片使用 74LS48,如果是共阳极数码管,则要选用 74LS47 来驱动(本课题采用 74LS47),也可以选用 CD4543,能驱动共阳极和共阴极两种数码管<sup>[9]</sup>。

4 个 74LS47 的输入端 BCD 码 A、B、C、D 分别与四个 74LS160 的输出 Q0~Q3 相连,74LS47 的七个输出端分别与 4 个共阳极数码管的 a、b、c、d、e、f 端一一对接,74LS47 的 3 个功能端不使用,都接高电平。除了千位数码管的小数点需要接地显示外,其它数码管的小数点位和共阳极端都接高电平。这样,显示电压的单位就变成了伏(V),加计数模块的千位显示的是个位,其它为小数位。LED 显示电路如图 6 所示。

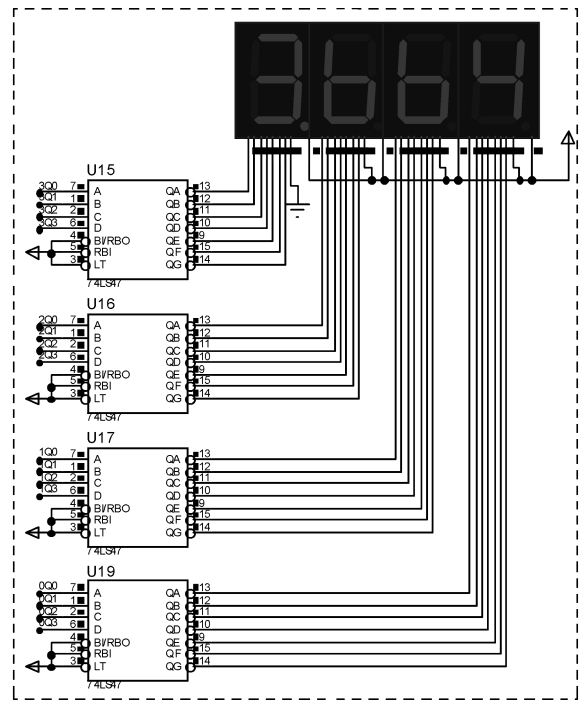


图 6 Proteus 中设计的显示模块  
Fig. 6 Display module designed in Proteus

3 系统仿真与焊接调试

系统各个功能模块的电路在 Proteus 中设计仿真完成之后,再进行整体连接和仿真调试,数字电压表的完整电路由图 2、4、5、6 组合即成,此处略。

3.1 系统仿真

打开 Proteus 系统电路图,闭合 K1,断开 K2 和 K3。把 RV1 调至任一位置,双击 K1 启动 A/D 转换电路,双击 K2 使计数器复位,显示清零。然后闭合 K3,给加、减计数器以合适时钟开始 BCD 码转换,同时观察到 LED 显示数据在快速变化,当转换结束时,LED 显示稳定在一个数上,即被测电压的实际值。例如,当某一模拟量的转换值为 1110,0101 时,减计数器直接对 1110,0101,0000 进行减计数,当减计数到 0 时,加计数也停止计数,这样加计数一共计的数就是 1110,0101,0000 的十进制数值,即  $2^{11} + 2^{10} + 2^9 + 2^6 + 2^4 = 3\,664$ ,即最终显示的测量电压值为 3.664 V,如图 6 所示。

3.2 焊接与调试

对照系统完整电路图,按照以下步骤和注意事项进行焊接和调试。

(a)分模块进行焊接和调试。先焊 555 定时器模块。因为没有时钟,其他电路都无法工作。其次再焊 A/D 转换模块、显示模块、加计数和减计数模块。启动/复位模块是融合在相关电路中的。显示模块一定要先于计数模块焊接调试成功,因为如果显示不正确,就会增加计数电路调试的困难<sup>[10]</sup>。加计数电路可以通过显示电路来调试,减计数电路的焊接和调试要放在最后,只能和已调试好的加法电路以及显示电路一起调试。

(b)每个模块都调试正确后,方可把模块间的引线连在一起进行整体调试。

(c)焊接时应焊接集成芯片对应的插座,要注意元件的封装,调试时再安装芯片,以免焊接时烫坏芯片。

(d)不要忘记焊接集成芯片的电源和接地线,最好统一排列规整,以便排查故障。

在实际制作中发现,万能板焊接容易产生较

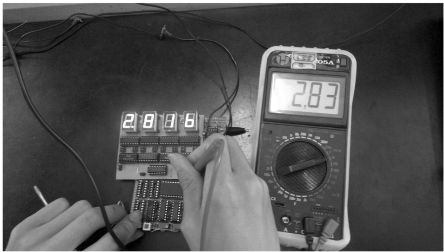


图 7 电路功能测试  
Fig. 7 Circuit function test

多的故障点,使用自制印刷电路板,故障点就大大降低。图 7 是调试中的全硬件 LED 显示直流数字电压表。

## 4 结 论

本课题涵盖了数字电子技术中重点章节知识点,如脉冲发生电路,模/数转换电路,组合逻辑

电路(显示译码器、集成组合门电路),时序逻辑电路(移位电路、计数电路、触发器)。根据设计任务和要求,提出分模块进行电路设计与调试。在 Proteus 虚拟实验平台上进行设计与仿真,大大提高了复杂硬件电路设计的成功率,增加了设计兴趣。此款全硬件 LED 显示直流数字电压表具有体积小、成本低、误差可控及便于携带等优点。

## 参 考 文 献:

- [1] 朱清慧. Proteus—电子技术虚拟实验室[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.  
ZHU Q H. Proteus—electronics technique virtual laboratory [M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydro-power Press, 2010. (in Chinese)
- [2] 杨建成. 基于单片机的数字电压表设计与仿真[J]. 现代电子技术, 2012, 35(21): 170-172.  
YANG J C. Design and simulation of SCM-based digital voltmeter [J]. *Modern Electronics Technique*, 2012, 35 (21): 170-172. (in Chinese)
- [3] 朱清慧, 张凤蕊, 翟天嵩, 等. Proteus 教程—电子线路设计、制版与仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.  
ZHU Q H, ZHANG F R, ZHAI T S, *et al.* *Proteus tutorial—Electronic Circuit Design, PCB-making and Simulation* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (in Chinese)
- [4] 许小军. 数字电子技术实验与课程设计指导[M]. 南京:东南大学出版社, 2007.  
XU X J. *Digital electronic technology experiment and curriculum design guidance* [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2007. (in Chinese)
- [5] 朱清慧, 陈绍东. Proteus 实例教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2013.  
ZHU Q H, CHEN S D. *Proteus Example Tutorial* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013. (in Chinese)
- [6] 李维颢, 郭强. 液晶显示应用技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2000.  
LI W T, GUO Q. *Liquid crystal Display Application Technology* [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2000. (in Chinese)
- [7] 田东. 数字电路课程设计的改革与探讨[J]. 实验技术与管理, 2006, 23(5): 118-119, 122.  
TIAN D. Research of the reform of digital circuits course design [J]. *Experimental Technology and Management*, 2006, 23(5): 118-119, 122. (in Chinese)
- [8] 陆欣云, 陈巍, 张军. 基于 FPGA 的 LED 点阵系统控制器的设计与实现[J]. 液晶与显示, 2014, 29(6): 926-932.  
LU X Y, CHEN W, ZHANG J. Design and implementation of the LED matrix system controller based on FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(6): 926-932. (in Chinese)
- [9] 龚成莹, 赵又新, 马宏锋. 基于 FPGA 的 LED 点阵书写显示屏的设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2010(3): 123-125.  
GONG C Y, ZHAO Y X, MA H F. Design of LED dot-matrix display on FPGA [J]. *Automation & Instrumentation*, 2010(3): 123-125. (in Chinese)
- [10] 高峰. 一种新型智能电压表的设计[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2011, 29(1): 80-82, 89.  
GAO F. Design of a new intelligent voltmeter [J]. *Journal of Jiamusi University (Natural Science Edition)*, 2011, 29(1): 80-82, 89.

**作者简介:**朱清慧(1968—),女,河南社旗人,博士,教授,2012年毕业于中国矿业大学(北京)获得博士学位,主要从事检测技术及自动化装置方面的研究。E-mail: 0zhu@163.com