

# 某型机载高度表指示器数字化显示电路设计

李宝鹏, 李淑华, 王守权, 黄子革

(海军航空工程学院 青岛校区航空电子系, 山东 青岛 266041)

**摘要:** 机载高度表磁电指针式显示器存在着读数精度不高、抗震性差、非线性程度不好、模拟数据不易存储等缺陷, 将高度表指示器进行数字化显示处理, 除了方便读取高度数据和提高读数精度外, 还能将高度数据存储到计算机内配合其他作战数据处理系统使用, 进而提高设备的综合性能; 针对这一问题, 根据模拟高度电压信号特点, 利用 MCS-51 单片机及接口电路设计了高度表指示器数字化显示电路; 通过接口电路功能扩展和软件编程对高度表模拟高度电压进行采样量化、A/D 转换、非线性修正以及 LED 数码显示; 实践结果表明, 该数字化电路显示精度高、数据易存储、制作成本低、通用性强, 只需修改查表程序即可应用于其他高度表磁电指示器的数字化显示, 在模拟信号数字化显示处理方面具有一定的典型性。

**关键词:** 高度表指示器; 单片机; 非线性修正; A/D 转换; LED 数码显示

## Digital Display Circuit Design of Certain Type Airborne Altimeter

Li Baopeng, Li Shuhua, Wang Shouquan, Huang Zige

(Department of Avionics, Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Institute, Qingdao 266041, China)

**Abstract:** The airborne altimeter which used magnetolectric pointer indicator has lots of defects, such as low reading accuracy, poor seismic performance, poor non-linearity and difficult to store analog data. If airborne altimeter indicator adopt digital display, not only the height data can be read easily and the reading accuracy be improved, but also the height data can be stored in the computer data processing system and can be used in conjunction with other operations, thus improving the overall performance of the equipment. In view of this problem, according to height voltage signal characteristics of airborne altimeter, a circuit of altimeter display used single-chip microcomputer and interface circuit is presented. By means of interface circuit, function expansion and software programming, the analog height voltage of the airborne altimeter is sampled, quantized, A/D converted, nonlinear corrected and LED digital display is performed. Practice results show that the digital display circuit has lots advantages, such as high precision, easy storage, low manufacturing cost, strong versatility, only need to modify the digital display meter check procedures can be applied to other altimeter magnetolectric digital display; the analog signal is a typical processing.

**Keywords:** airborne altimeter indicator; single-chip microcomputer; non-linear correction of signal; A/D conversion; LED display

## 0 引言

高度表是军机上重要的机载电子设备, 它用来测量高度数据并通过显示器将高度显示出来供飞行员或空勤人员查看。高度是飞行中关注的重要飞行参数, 高度表的测高的精确性与显示实时性直接影响着飞行安全, 这是一个不容忽视的问题。目前某些型号高度表指示器采用的磁电指针式指示器, 这种磁电指针式显示器存在着读取精度不高、抗震性差、非线性程度不好、数据不易存储等缺点。如果对高度表的模拟高度电压信号进行数字化显示, 将有利于提高读数精度, 同时还能将高度数据分配给其他系统使用, 提高机载电子设备综合性能。本文采用以单片机系统为主体的设计方案, 通过接口电路功能扩展, 设计了一种高度表数字化显示电路, 完成对模拟高度电压信号的 A/D 转换、非线性修正及数码显示。

## 1 模拟高度电压信号分析

一般高度表采用频率法测距, 高度表发射电路产生的调频信号, 一路直接输到接收电路, 另一路向地面发射, 从地面反

射回来后到达接收电路。由于调频信号的频率总是不断变化的, 所以直接信号和接收信号之间产生了频差。差频信号代表电波往返时间长短, 从而反映了飞行高低。高度表计算电路把差频信号转换成大小与飞行高度成正比的直流电压信号, 然后把直流电压加至有关电路, 变成与高度成正比的直流电流, 最后流经高度指示电路将高度指示出来。

如图 1 所示, 高度直流电压与差频脉冲是一对非线性变化关系, 磁电指针式高度表要将该非线性电压信号显示出来, 需在指示表盘上采用非均匀的指示刻度, 一般在低高度范围标注的刻度密, 而在高高度范围标注的刻度稀, 以此来修正该非线性变化的信号。本设计电路在对该高度信号进行数字化显示时, 也需对该信号进行非线性修正处理。因为该曲线上每个点电压所对应的高度值是一定的, 所以可以在允许误差范围内对它进行采样, 然后根据电压和高度数据编写查表程序, 过查表查得每个输入电压所代表的高度数据, 这样就可以修正非线性变化的电压。

## 2 总体方案设计

由于输入高度表指示器的电压为非线性变化的模拟电压, 如果要将该电压进行数字化显示, 需要经过高度电压的模数转换、非线性修正、数字化显示等步骤。非线性修正及数字化转换, 可采用逻辑电路器件, 也可以使用单片机系统或数字电路<sup>[1-3]</sup>。由于逻辑电路设计比较复杂、使用灵活性差、转换精度不好, 而单片机电路设计电路简单、灵活性强、转换精度

收稿日期: 2017-08-02; 修回日期: 2017-08-29。

**作者简介:** 李宝鹏(1986-), 男, 山东德州人, 讲师, 硕士研究生, 主要从事航空电子对抗方向的研究。

李淑华(1961-), 男, 江苏金坛人, 教授, 硕士研究生, 主要从事机载电子任务系统方向的研究。

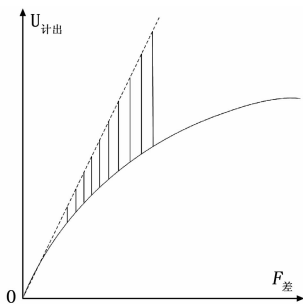


图 1 高度直流电压信号与差频关系曲线

高、芯片价格低<sup>[4-5]</sup>，所以选用以单片机系统为主体的设计方案，通过接口电路与软件编程，实现对模拟高度电压信号的 A/D 转换、非线性修正、LED 数码显示等综合功能。

模拟电压进行 A/D 转换使用 8 位 ADC0809 型集成芯片，可满足高度表显示量程和精度误差的要求。非线性修正选用在单片机内部嵌入查表程序的修正方案。数字化显示部分选用 LED 数码显示，因为 LED 数码显示接口电路简单、与单片机的兼容性好、读取方便、显示位数可控。查表程序查得的各位高度显示数据加到与单片机相连的 LED 段译码器和位译码器上，把显示高度数据转换成段选码和位选码，然后输出到 LED 数码显示器上显示出来。

采用上述设计方案优点为：电路整体性好、兼容性强、适用范围广、可扩展功能性强、电路设计费用低。无论什么样的模拟高度信号，都能用本电路对其数字化显示，而且显示精度可控，高度数据易存储，可以为其它作战处理平台提供数字化的高度参数。

总体电路设计原理框图如图 2 所示，主要功能模块有：单片机系统、A/D 转换部分、非线性修正部分、数码显示部分。

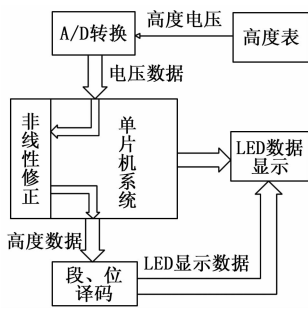


图 2 设计电路原理框图

### 3 硬件电路设计

#### 3.1 高度电压非线性修正

非线性修正有很多方法，如数学函数量化、小间隔线性处理、标准线型匹配、查表程序法等。前 4 种方法计算过程较为复杂，修正数据使用范围窄，数学处理较为困难，与选用的单片机系统的兼容性不好。为了提高非线性修正精度和电路兼容性，本文选用查表程序法非线性修正方案，对输入不同的模拟高度电压信号，使用不同的量化方案和查表程序。即首先对模拟电压进行采样，采样后的模拟电压会得到一个高度数据，然后根据该采样数据编写查表程序表格存入单片机内。这样通过查表查得每个模拟电压对应的显示高度数据，从而达到了非线性修正的目的。

表 1 为高度表量程为设置为 1 200 米，显示精度为设置

4.7 米时的非线性修正查表表格。表格存储的是查表地址所对应的高度数据，每个高度数据由千位、百位、十位、个位、小数位五位组成，要显示一个高度数据需要进行 5 次循环查表，然后将查得的每位数据送去进行 LED 数码显示。要显示的每个数据由位选码和段选码组成，比如千位要显示数字‘1’，则 1 对应的中 P1.0~P1.3 (图 3) 低四位脚输出的位选码 BCD 码是 01H，1 对应的 P1.4~P1.7 (图 3) 高四位输出的位选码是 08H，即在 P0.0~P0.7 (图 3) 脚置数 81H，则在千位显示出 1 来。

表 1 非线性修正查表表格

表地址	显示高度	第一位	第二位	第三位	第四位	小数位
00H	0 000.0	80H	90H	A0H	B0H	C0H
01H	0 004.7	80H	90H	A0H	B4H	C7H
02H	0 009.4	80H	90H	A0H	B9H	C4H
03H	0 014.1	80H	90H	A1H	B4H	C1H
...	...	...	...	...	...	...
78H	0 526.5	80H	95H	A2H	B6H	C5H
...	...	...	...	...	...	...
E5H	1 073.4	81H	90H	A7H	B3H	C4H
...	...	...	...	...	...	...
FBH	1 181.3	81H	91H	A8H	B1H	C3H
FCH	1 185.9	81H	91H	A8H	B5H	C9H
FEH	1 190.6	81H	91H	A0H	B0H	C6H
FHH	1 195.3	81H	91H	A5H	B5H	C3H

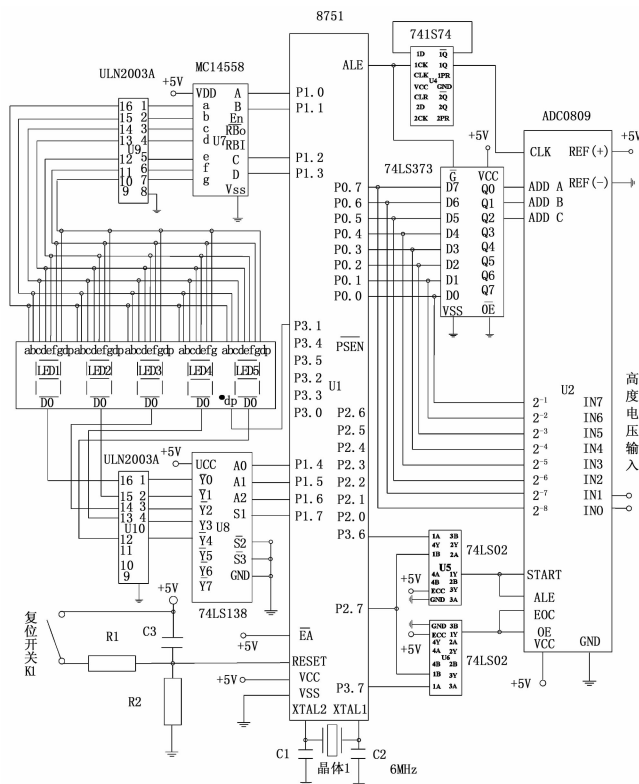


图 3 总体电路及接口设计

#### 3.2 A/D 转换模块设计

A/D 转换芯片选用常用 8 位 ADC0809 芯片，可以对模拟高度电压进行 256 份的采样量化，对某型高度表低范围，可以

达到 0.47 米 ( $120/256=0.47$ ) 的显示精度, 高范围可以达到 4.7 米 ( $1\ 200/256=4.7$ ) 的显示精度。A/D 转换模块主要组成部件有: ADC0809 模数转换器、74LS74 触发器、74LS373 地址锁存器、74LS02 或非门。74LS373 地址锁存器用来锁存 ADC0809 的模拟转换通道。74LS74 D 触发器用于把单片机 ALE 端输出的频率为 1 MHz 的时钟信号二分频, 给 ADC0809 芯片提供频率为 500 kHz 的时钟信号。74LS02 用在完成对 ADC0809 的启动转换控制、数据输出允许控制。

### 3.3 数字化显示设计

考虑到 LED 数码管具有功耗小、耐冲击、寿命高等优点<sup>[6]</sup>, 数字化显示模块采用 LED 数码显示方式。主要组成部件有: 7 段 LED 数码显示器、MC14558 段译码器、74LS138 译码器、ULN2003A 段 (位) 驱动器, 如图 5 所示。LED 数码显示采用 5 位共阴极动态扫描显示方式, 在某时刻输入某一位的段选码和位选码, 然后每位依次循环显示下去。MC14558BCD 段译码器用于 LED 数码显示的段译码, 74LS138 译码器用于 LED 数码显示的位译码。UIN2003A 段 (位) 驱动器驱动常规的 LED 数码显示器, 把段 (位) 译码器输出信号的电流, 变成 LED 数码显示所允许的电流。

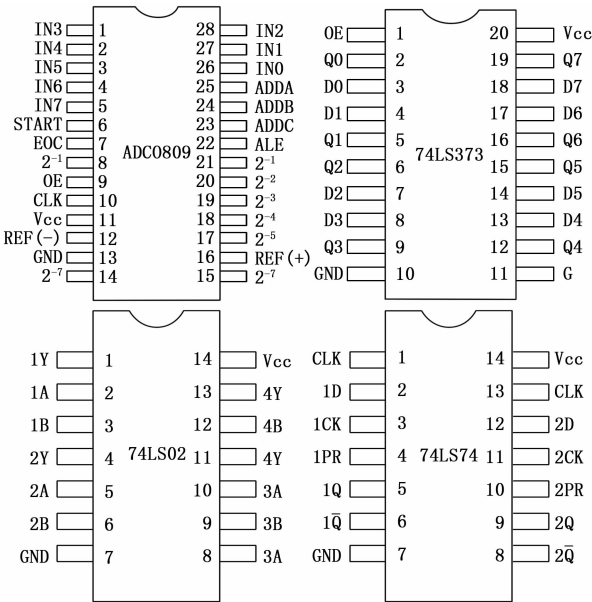


图4 ADC0809、74LS373、74LS02、74LS74 芯片

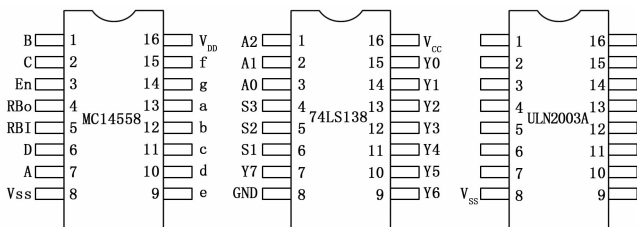


图5 MC14558、74LS138、UIN2003A 芯片

### 3.4 单片机与附属电路设计

#### 3.4.1 主处理芯片

单片机系统主处理芯片选用 MCS-51 系列 8 751 单片机, 8 751 单片机内部带有 4 KB 存储空间, 可通过接口功能电路控制其他部分, 实现对输入模拟高度电压的 A/D 转换、非线性修正、LED 数码显示等综合功能。单片机各管脚在本电路

所实现的功能如下。

VCC 脚接外部 +5 V 电源, VSS 脚接地; RESET 脚接外部复位电路, 当按下复位开关单片机处于起始状态准备工作; XTAL1, XTAL2 外部时钟信号输入端, 为单片机提供 6 MHz 的时钟信号; ALE 脚接地址锁存器使能端, 控制地址锁存器, 同时 ALE 输出信号经过二分频后还给 A/D 转换器提供时钟信号; P0.0~P0.7 脚为地址数据线复用引脚, 当地址锁器锁存地址线时, 输出地址选通数据, 选择 A/D 转换器的模拟转换通道 IN0-IN7 的哪一路。A/D 转换后的数据, 由 P0.0~P0.7 作为数据线输入单片机内; P2.7、P3.6、P3.7 脚输出的信号经或非门芯片后, 共同完成对 ADC0809 的启动控制、数据输出允许控制; P1.0~P1.3 脚用于输出 LED 数码显示的段选信号, 控制 LED 数码的显示的字符形, P1.4~P1.6 脚用于输出 LED 数码显示的位选信号, 经过 3~8 译码后控制 LED 数码管的哪位点亮, P1.7 脚输出高电平到 S1 脚, 启动译码工作状态; 脚接高电平, 允许执行个功能时访问片内的程序; P3.1 输出高电平到 LED 数码管的第四位小数位 dp 脚, 点亮该小数点。

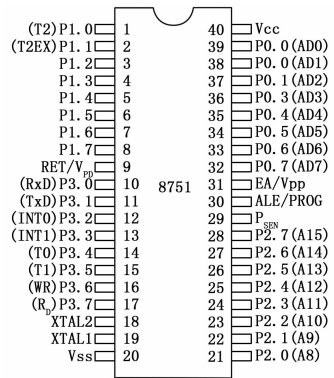


图6 8 751 单片机芯片

#### 3.4.2 附属电路设计

附属电路主要有复位电路、振荡电路、电源电路组成, 图 7~9 所示。复位电路用于电路启动时系统的初始化。振荡电路采用石英晶体振荡电路, 为单片机提供的时钟频率为 6 MHz 的时钟信号。电源电路提供 +5 V 直流电源供电, 具有稳压、平滑滤波, 抑制高、低频干扰等功能。

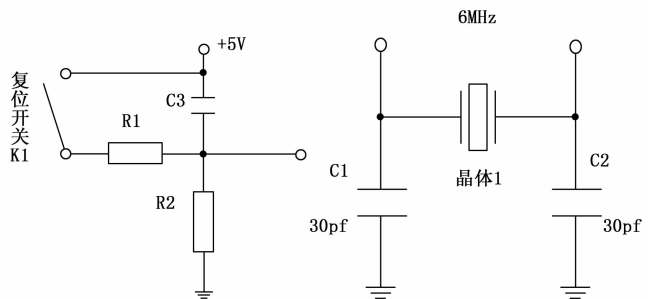


图7 复位电路图

图8 外部振荡电路

#### 3.4.3 电路组成与工作原理

总体设计电路如图 3 所示。按下复位键 K1 后, RESET 脚置高电平, 完成电路状态初始化。ADC0809 的模拟电压输入端 IN0 脚输入高度表的模拟高度电压信号, 8 751 单片机 ALE 脚输出使能信号启动 74LS373 锁存器, P0.0~P0.2 脚输出地址选

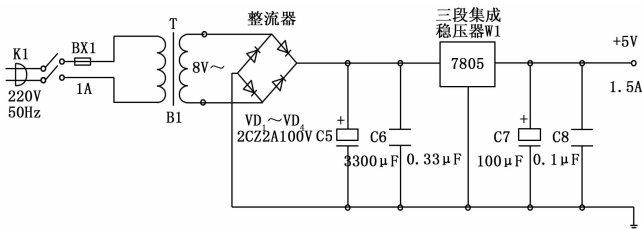


图 9 +5 V 直流电源设计电路

通信信号到 74LS373 锁存器 D0~D2, 74LS373 锁存器 Q0~Q2 脚输出选通信号到 ADC0809 的 ADDA-ADDC 脚, 选通转换通道 IN0 端口。8 751 单片机 P3.6、P2.7、P3.7 脚输出信号经或非门后, 输出一个正脉冲到 ADC0809 的 START、ALE 脚, A/D 转换启动。EOC 脚输出转换结束信号脉冲, OE 脚输出允许输出信号, 这时就会在  $2^{-1}-2^{-8}$  脚输出 8 位转换完的二进制数据, 该数据由 8 751 单片机 IN0-IN7 脚存储到寄存器内作为查表程序偏移量, 此时 A/D 模块转换完成。

A/D 转换后的数据存储在单片机内, 作为查表程序的查表地址偏移量数据。高度数据的千位、百位、十位、个位、小数位表格预先存储到相应的存储区内, 根据不同位表格的地址加地址偏移量查表, 查得显示位的显示数据。经过循环 5 次循环查表, 查得要显示的每位总共 5 个显示数据, 完成非线性修正。

查表得到每位的高度显示数据后, LED 显示程序启动。查表得到高度显示数据的段选 BCD 码和位选信号, 输出到 LED 数码管的千位、百位、十位、个位、小数位循环显示出来。假设要显示的高度数据为 1 190.6, 则查表程序查得高度数据的第一位为 '81H', 单片机输出段选 BCD 码和位选信号, 即 P1.7~P0.0 置数 81H, 段选 BCD 码 0001 由 P1.3~P1.0 脚输入到 MC14558 的 A、B、C、D 脚进行段译码, BCD 码经过段译码为 0000110 (06H) 经段驱动后加到位选段, 0000110 代表第一位 LED 的 b、c 段的阳极段输入高电平; 同时 P1.4~P1.6 脚输出信号 000 到 74LS138 的 A0~A2 脚, P1.7 输出高电平 1 到 S1 脚, 使译码器工作。译码后脚输出信号 01111 经过位驱动后, 加到位选段, 此时 LED 数码管第一位的共阴极端 D0 脚置低电平, b、c 段被点亮, LED 数码管第一位显示出数字 '1'。这样经过 5 次同样的流程, 数字 1、1、9、0、6, 分别在 LED 数码管的千位、百位、十位、个位、小数位循环显示出来。

## 4 软件程序设计

### 4.1 A/D 转换程序

```

MAIN:
MOV R0, data ;置数据首地址
MOV DPTR, 7FF8H;P2.7=0,且指向通道 0
MOV R7, 02H ;置通道数
LOOP:
MOVX @DPTR,A ;启动 A/D 转换
MOV R6, 0AH ;软件延迟
DLAY:
NOP ;等待
DLNZ R6,DLAY
MOVX A,@DPTR;读取转换结果
MOV @R0,A ;存储数据
INC R0 ;修改数据指针
MOV DPTR, 7FF9H;P2.7=0,且指向通道 1
DJNZ R7,LOOP ;2 个通道查完了吗
    
```

### 4.2 LED 显示程序

```

DISPLAY:
MOV A,R5 ;取千位码
MOV P1,A ;显示千位数
MOV A,R4 ;取百位码
MOV P1,A ;显示百位数
MOV A,R3 ;取十位码
MOV P1,A ;显示十位数
MOV A,R2 ;取个位码
MOV P1,A ;显示个位数
MOV A,R1 ;取小数位码
MOV P1,A ;显示小数位数
AJMP DISPLAY ;循环显示
    
```

### 4.3 非线性修正查表程序

```

ORG 0500H
START:
MOV A,data ;偏移量送 A
MOV DPTR,DTATAB0 ;千位数据表格地址送 DPTR
MOV A,@A+DPTR ;查表
MOV R5,A ;千位数据存入 R5
MOV A,data ;偏移量送 A
MOV DPTR,DTATAB ;百位数据表格地址送 DPTR
MOV A,@A+DPTR ;查表
MOV R4,A ;百位数据存入 R4
MOV A,data ;偏移量送 A
MOV DPTR,DTATAB ;十位数据表格地址送 DPTR
MOV A,@A+DPTR ;查表
MOV R3,A ;十位数据存入 R3
MOV A,data ;偏移量送 A
MOV DPTR,DTATAB ;个位数据表格地址送 DPTR
MOV A,@A+DPTR ;查表
MOV R2,A ;个位数据存入 R2
MOV A,data ;偏移量送 A
MOV DPTR,DTATAB ;小数位数据表格地址送 DPTR
MOV A,@A+DPTR ;查表
MOV R1,A ;小数位数据存入 R1
RET ;返回主程
    
```

## 5 测试结果及分析

为了验证本设计数字化高度表指示器的性能, 将其与磁电指针式高度表指示器在低高度 (0~120 米) 和高高度 (120 米~1 200 米), 对比分析显示精度、测距误差、响应时间 3 个指标。将高度表高度计算电路输出的高度数据电流信号并行分为两路, 一路加到磁电式指示器输入端, 另一路加到数字化指示器输入端。分别记录低高度和高高度各 50 组高度数据, 进行数值统计分析。忽略指针式指示器人为读数误差, 将显示精度、测距误差、响应时间平均值计入表 3 和表 4。

表 3 低高度与磁电指针指示器性能对比

指示器类型	显示精度	显示误差	响应时间
磁电指针式	2.5 米	±1.23%	0.82s
LED 数字式	0.47 米	±0.68%	0.06s

表 4 高高度与磁电指针指示器性能比

显示器类型	显示精度	显示误差	响应时间
磁电指针式	30 米	±3.95%	0.82s
LED 数字式	4.7 米	±1.33%	0.06s

可见, 低高度数字化指示器显示精度为 0.47 米, 磁电式指示器显示精度为 2.5 米。数字化指示器显示误差为高度的  $\pm 0.68\%$ , 磁电式指示器显示误差为高度的  $\pm 1.23\%$ 。在高度表变化时数字化指示器响应时间为 0.06 秒, 磁电式指示器响应时间为 0.82 秒; 高高度数字化指示器显示精度为 4.7 米, 磁电式指示器显示精度为 30 米。数字化指示器显示误差为高度的  $\pm 1.33\%$ , 磁电式指示器显示误差为高度的  $\pm 3.95\%$ 。数字指示器响应时间为 0.06 秒, 磁电式指示器响应时间为 0.82 秒。由此可见, 本设计数字化显示器在性能上远远超出了传统磁电指针式高度显示器。

## 6 结论

本文设计电路综合了模拟电路分析、数字电路转化、单片机系统和接口电路设计以及应用编程的运用, 电路整体性好、兼容性高、适用范围广、可扩展功能性强、电路设计费用低, (上接第 144 页)

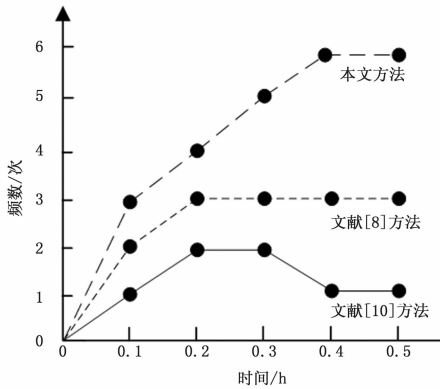


图 10 不同方法抄表频数对比

用多模柔性融合通讯技术, 对居民家庭的水电气热四类表计进行采集, 采集效率低, 频数少。文献 [8] 中依据水表预付费用的业务需求, 构建基于 NFC 的水表数据采集系统架构, 虽然只是对水表采集系统进行构建, 但是依据水表预付费业务需求建立的数据采集系统会具有一定程度的主观意识, 导致单一的水表采集系统也无法达到高效率地数据采集。该对比证明了本文方法的有效性要强于文献所提方法。下表为不同方法在各方面的性能对比。

表 1 不同方法在不同性能方面的对比结果

比较项目	文献[9]方法	本文方法
供电	必须长期带有电源, 一般使用电池供电, 但电池寿命低, 需要定期更换电池	无需长期供电
维护与安装	需要设置底度, 更换电池时还需设置底度	安装不需要设置底度
采样原理	脉冲累计, 不可断电	不读数时不需要供电

分析上表可知, 本文方法在各方面均优于文献方法。本文方法在水电气多表合一数据自动采集系统设计中, 硬件部分由数据采集系统主电路图、数据采集系统控制电路图、数据采集系统接口设计、数据采集系统电源电路等组合而成, 软件部分利用数据采集系统主程序流程图, 和抄表子程序流程图等构成, 所设计的数据采集系统相比文献方法中的数据采集系统更

在模拟电路的数字化处理方面具有一定的典型性和创新性。

## 参考文献:

[1] 何立民. MC-51 系列单片机应用系统设计—系统配置与接口技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1993.  
 [2] 朱 勇. 单片机原理与应用技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
 [3] 江国强. 新编数字逻辑电路 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.  
 [4] 洪杰峰, 等. 基于 51 单片机的边界扫描控制器的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22: 3088-3089.  
 [5] 冯 源, 豆海利, 赵 刚. 基于 S12X 系列双核单片机的 CAN 网关设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24: 47.  
 [6] 刘雨鑫, 刘诗斌, 荣皖芳. 一种用于白光 LED 的亮度控制电路 [J]. 计算机测量与控制, 2009 (7): 555.  
 为完善且具体, 进一步证明了本文方法具有可靠性。

## 5 结束语

鉴于目前国内水电气数据采集系统设计技术日渐成熟, 保障了采集系统前端采集的可靠性, 但还是存在类似于稳定性差等问题, 而利用本文方法可以对水电气多表合一数据自动采集系统进行有效设计。

多表合一数据采集系统可以成功地采集热能表、电能表等基表所发出的脉冲信息, 而且不会丢失脉冲, 但有以下几个方面需要做进一步研究:

对数据的通信方式做进一步讨论, 进而提高数据传输可靠性; 进一步完善数据采集系统统计分析性能, 为水电气等管理部门决策提供全面支持; 可以在系统中安装自动语言回复等功能; 将系统进行逐步推广, 在实践中进行完善以及改进, 实现远程数据的采集与控制。

## 参考文献:

[1] 李维聪, 孙海蓉. 基于 LabVIEW 的 USB 无线数据采集仪 [J]. 计算机仿真, 2015, 32 (2): 455-458.  
 [2] 王彩红, 崔 勇, 张庆辉, 等. 基于嵌入式 LINUX 的智能用电采集系统设计与实现 [J]. 电测与仪表, 2016, 53 (11): 72-75.  
 [3] 潘明明, 林晨翔, 王 璇, 等. 中低压用电安全数据采集系统的取能装置 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (8): 107-111.  
 [4] 刘 莹, 周喜平. 基于 WSN 监控的电动汽车并行数据采集系统设计 [J]. 科技通报, 2016, 32 (6): 205-208.  
 [5] 徐 晴, 刘 建, 田正其, 等. 水、热、气、电四表合一数据采集系统的研究与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (3): 217-221.  
 [6] 夏光辉, 秦建军, 王大成. 基于 FPGA 的双 CF 卡数据采集系统设计 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (4): 19-21.  
 [7] 姜静波, 李安春. 东海陆架水文浊度要素自动采集系统设计 [J]. 海洋科学, 2016, 40 (8): 91-93.  
 [8] 张呈钰, 王让定, 姚 灵, 等. 移动支付近场通信智能水表系统 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (1): 166-169.  
 [9] 王 鹏, 栾文鹏, 金志刚, 等. 集中器模式下四表合一的通信问题与基于自组网的网络化采集系统 [J]. 南方电网技术, 2016, 10 (11): 59-66.  
 [10] 郭 亮, 张 婷. 居民用户家庭能耗采集系统设计 [J]. 电测与仪表, 2016, 53 (12): 178-180.