

M41ST87 在 IC 卡电量测量系统中应用

刘经宇,方彦军
(武汉大学 自动化系,湖北 武汉 430072)

摘要: M41ST87 是一款全功能微处理芯片。简述了 M41ST87 的功能结构、工作原理、内部寄存器和通信接口及工作方式。介绍了基于 M41ST87 的 IC 卡电量测量系统的功能结构、系统与 M41ST87 接口的硬件电路、软件流程图及程序。实践证明,基于 M41ST87 的 IC 卡电量测量系统简化了系统的软件设计,节约了硬件资源,可靠性、安全性及抗干扰能力大大加强。

关键词: M41ST87; I²C 总线; 智能 IC 卡; 电量测量

中图分类号: TM 714;TN 47 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2005)01-0046-04

M41ST87 是由意法半导体公司设计的一款全功能微处理器监控及管理芯片。将 M41ST87 的高安全性、高集成度、低成本和小使用空间等独特优势应用于 IC 卡中,可以极大地节省单片机的软硬件资源,并且使其可靠性、安全性、实用性和抗干扰能力等得到极大的改善。

1 M41ST87 的功能结构及工作原理^[1]

1.1 M41ST87 的功能结构

M41ST87 是一款带入侵检测功能的实时时钟及微处理器管理芯片。在安全性方面,两路独立且在电池模式下仍有效的入侵检测电路连续对系统进行检测,对入侵进行报警及保护处理。

同时,如同这款芯片设计的前身 M41ST85 系列一样,M41ST87 也高度集成了可编程串行时钟、非易失性 RAM 及微处理器管理功能。串行时钟电路含有记录时间和日期的计数器,精度范围从 0.01 s 到世纪。非易失性 RAM 管理器电路可使小功率 SRAM 变成非易失性存储器,其功能包括 1 个电池自动切换电路、写保护用芯片启动门和 1 个电池监视器。微处理器管理电路包括看门狗、2 个相互独立的掉电输入/掉电输出比较器和 1 个强固的复位电路。此外,M41ST87 内部含嵌入晶体,不会受环境湿度的影响,即使受到外部入侵,仍能继续运行。

1.2 M41ST87 的内部寄存器

M41ST87 的内部 RAM 结构是 160×8 位,其中 128 字节是用户通用 NVRAM,剩下的 32 字节是芯片功能寄存器,用户通过对功能寄存器的读、写设置实现芯片各种功能,表 1 为功能寄存器的详细分配。

1.3 M41ST87 的通信接口及工作方式

在通信接口上,M41ST87 通过 1 个达 400 kHz 的 I²C 接口以 1 个地址为 D0 H 的 I²C 总线从站与微处理器连接,由 2 根线(SDA,SCL)实现全双工同步

表 1 M41ST87 的功能寄存器结构表

Tab.1 The structure of functional registers of M41ST87

地址/H	数 据								功能
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
00	× 0.1 s				× 0.01 s				实 时 时 钟
01	ST	× 10 s			× 1 s				
02	OFIE	× 10 min			× 1 min				
03	CB1-0		× 10 h		× 1 h				
04	TR	THS	CLRPW		32 k	星期几			
05	PFOD	0	× 10 d		× 1 d				
06	0	0	0	× 10 月 (D4), ×1 月 (D3~D0)					
07	× 10 a				× 1 a				
08	OUT	FT	S	时间校准					控制
09	WDS	BMB4~0					RB1,0		看门狗
0A	AFE	SQWE	ABE	×10 月 (D4), ×1 月 (D3~D0)					报 警 时 间 设 置
0B	RPT4	RPT5	× 10 d		× 1 d				
0C	RPT3	HT	× 10 h		× 1 h				
0D	RPT2	× 10 min			× 1 min				
0E	RPT1	× 10 s			× 1 s				
0F	WDF	AF	0	BL	0	OF	TB1, 2		
10 H~12 H									保留
13	RS3~0				SQWOD(D3)				方波
14	入侵检测 1 路设置 (具体后详)								入 侵 检 测
15	入侵检测 2 路设置 (同上)								
16 H~1D H (芯片序列号 ROM)									序列号
1E H~1F H									保留
20 H~9F H (用户 NVRAM)									用户

注:时钟信息全部以 BCD 码格式存储。

数据传送。根据 I²C 总线通信协议,在电量测量系统设计中,CPU 访问 M41ST87 时通信数据格式如图 1 所示。

起 始	从站 地址	R/ $\bar{W}$ 0	应 答	待写数 据地址	应 答	待写 数据 1	应 答	...	待写 数据 N	应 答	停 止
--------	----------	-------------------	--------	------------	--------	------------	--------	-----	------------	--------	--------

(a) CPU 写 M41ST87 格式

起 始	从站 地址	R/ $\bar{W}$ 0	应 答	待读数 据地址	应 答	起 始	从站 地址	R/ $\bar{W}$ 1	应 答	...	待读数 据 1...N	应 答	停 止
--------	----------	-------------------	--------	------------	--------	--------	----------	-------------------	--------	-----	----------------	--------	--------

(b) CPU 读 M41ST87 格式

图 1 CPU 读/写 M41ST87 一个字格式

Fig.1 Communication format of CPU reading/
writing a byte of M41ST87

CPU 对 M41ST87 写操作由起始条件 S,M41ST87 地址、读写控制 $R/\overline{W}$ 位、待写单元地址、若干字节数据和应答信号 A 组成。读操作则多了 1 个重新启动及寻址的过程,因为其中有 1 个数据的传输方向转换的过程。M41ST87 地址字节由 7 位从机地址和 1 位 $R/\overline{W}$ 组成,其中 $R/\overline{W}$ 称为读、写位,为 0 表示 CPU 写。数据字节的个数视不同读、写操作类型而定。

2 系统功能结构^[2,3]

在电量测量系统的功能设计上,除电量信号检测调理电路、显示电路、IC 卡接口电路、控制电路、键盘及外部存储外,掉电检测及保护电路、电池电量检测及报警电路、看门狗电路、实时时钟电路及复位电路全部由高集成的 M41ST87 独自实现。同时,基于 M41ST87 的独特功能,在电量测量系统的设计中添加了一般电量测量系统没有的外部入侵检测、报警及保护功能,系统功能框图如图 2 所示。

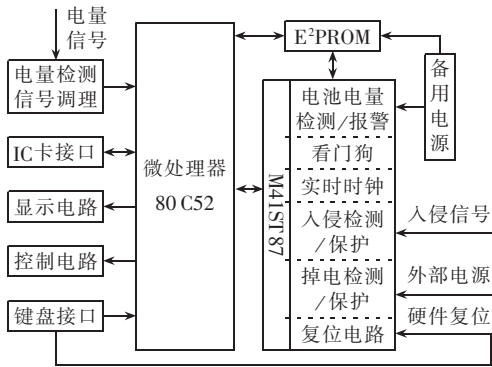


图 2 IC 卡电量测量系统功能框图
Fig.2 The functional block diagram of measuring system

3 M41ST87 接口的硬件实现^[4]

M41ST87 在功能上的集成使得其硬件电路得到大大的简化,其电路如图 3 所示。

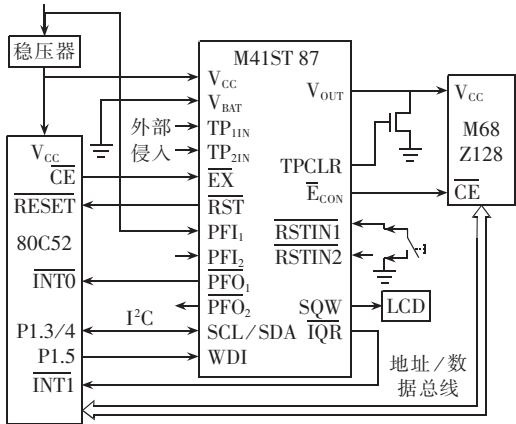


图 3 M41ST87 在电量测量系统中的硬件实现
Fig.3 The hardware circuit of M41ST87 in measuring system

M41ST87 以其简洁的硬件连接实现了下述功能。

a. 系统掉电检测及保护。PFI₁ 脚直接接外部电源,当其检测到电源电压低于 U_{PFD} 时,内部实时时钟记下掉电时间;PFO 脚(接 CPU 外部中断 1)转为低电平,CPU 进入掉电保护中断;RST(接 CPU RST 脚)转低电平,等待再次检测到电源恢复 t_{rec} 秒后回到高电平,上升沿为 CPU 复位; $\overline{E}_{CON}$ (接外部 RAM 片选端)转高电平,使外部 RAM 被写保护;M41ST87 自身写保护,与 CPU 通信的 SCL/SDA 脚信号无效。同时,M41ST87 在检测到外部电源电压低于 U_{S0} 时自动启用备用电池,为自身时钟供电,同时也通过 V_{OUT}(接外部 RAM 的 V_{CC})为外部低功耗 RAM 提供保持数据的基本电压。

b. 备用电池电量检测及报警。备用电池始终与 M41ST87 连接,芯片自动对其电量进行周期性的检测并影响电池电量不足标志位 BL,电量测量系统通过软件定期对 BL 的检测发现并进入备用电池电量不足报警及更换电池的程序。

c. 看门狗。M41ST87 的看门狗输入引脚 WDI 与 CPU 的 I/O 口 P1.5 连接,单片机在程序轮循中对其复位,一旦程序失控,M41ST87 在规定时间内检测不到看门狗的复位信号,即向 CPU 的 RESET 脚发出复位信号。其时间间隔由内部寄存器控制位 BMB4~BMB0 及 RB1,RB0 的设置实现。

d. 实时时钟/定时器。CPU 需要调用时间信息时通过 I²CBUS 对其内存读、写实现。当电量测量系统备用电量不足或用户余额不足,需要延长一定时间后停止供电时,由 M41ST87 内部定时器以外中断的方式计时。时钟的矫正、启停、复位由 CPU 对其内存设置实现。

e. 复位功能。电量测量系统的复位不仅包括 M41ST87 在掉电恢复及重启时启动复位、看门狗监视到程序失控后的复位,还设计有 1 路 $\overline{RSTIN1}$ 外接的按键复位电路,可以实现手动复位。它们全部通过 RST 驱动 CPU 的 RESET 脚实现。

f. 外部侵入检测、报警及保护。针对外部可能的人为非法开表,对电量测量系统运行进行干扰,本电量测量系统设计了 1 路非法入侵检测电路。入侵检测脚 TP_{1IN} 与地连接,当电量测量系统被拆卸开时会断路。一旦内部检测到此断路信号,M41ST87 即通过 $\overline{IRQ}/OUT$ 向 CPU 发出中断信号,内部自行记录下入侵发生时间,清除内部 RAM,并通过 TPCLR 脚发出清除外部 RAM 信号,使非法用户无法得到篡改或得到任何信息。

g. 附属显示功能。将 M41ST87 的方波输出端 SQW 直接与发光二极管相连,通过软件设置使其以不同的频率闪烁,实现提醒用户交款、报警等功能。

4 M41ST87 接口的软件实现^[5,6]

电量测量系统的软件由系统运行主程序、显示子程序、控制处理子程序、中断处理子程序、IC 卡处理子程序 5 个模块组成。其中,主程序流程和涉及到 M41ST87 的中断处理子程序,流程如图 4 所示。

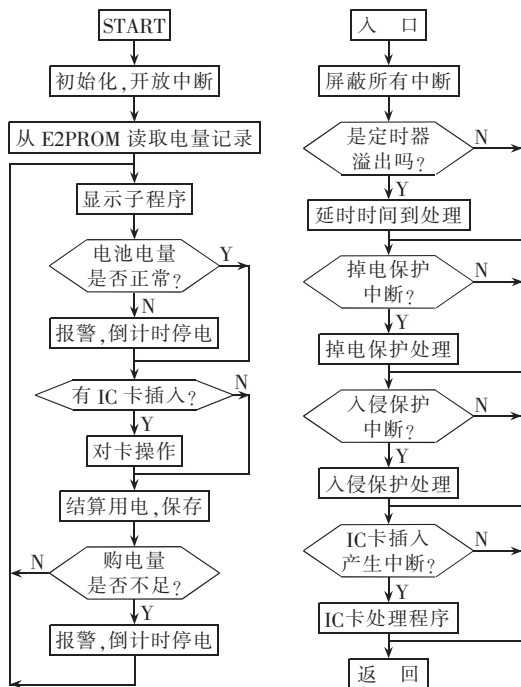


图 4 主程序流程图/中断处理子程序流程图

Fig.4 The flowcharts of main program and interruption subroutine

M41ST87 功能软件实现的重点在于其与 CPU 的通信读、写的实现及寄存器的具体设置上,下面从这两个方面进行介绍。

4.1 头文件及通信子程序

根据 I²C BUS 的通信协议及 M41ST87 自身特点,定义以下头文件和几个子程序。

4.1.1 头文件

```

#include< reg51.h>
#include< intrins.h>
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
sbit SCL=P1^3;
sbit SDA=P1^4;
sbit WDI=P1^5;
  
```

4.1.2 通信子程序^[7]

```

void Start(void):通信起始条件;
void Stop(void):通信停止条件;
void Ack(void):应答位;
void NoAck(void):反向应答位;
void Send(Data):发送数据子程序,Data 为要求发送的数据;
uchar Read(void):读 1 字节的数据子程序,并返回该字节值。
  
```

4.1.3 数据 Data 子程序

根据 I²C 通信子程序的定义,得到向 M41ST87 内部功能 RAM 地址 Address 写入 Num 个字节数据 Data[] 的子程序为

```

void WrToROM(uchar Data[],uchar Address,
uchar Num)
{
    uchar i;
    uchar *PData;
    PData=Data;
    for(i=0;i<Num;i++)
    {
        Start();
        Send(0xd0);
        Ack();
        Send(Address+i);
        Ack();
        Send(*(PData+i));
        Ack();
        Stop();
    }
}
  
```

从 M41ST87 内部功能 RAM 地址 Address 读取 Num 个字节数据 Data[] 的子程序为

```

void RdFromROM(uchar Data[],uchar Address,
uchar Num)
{
    uchar i;
    uchar *PData;
    PData=Data;
    for(i=0;i<Num;i++)
    {
        Start();
        Send(0xd0);
        Ack();
        Send(Address+i);
        Ack();
        Start();
        Send(0xd1);
        Ack();
        *(PData+i)=Read();
        SCL=0;
        NoAck();
        Stop();
    }
}
  
```

4.2 内部功能寄存器设置

基于上述的硬件连接以及 CPU 对 M41ST87 内

部功能寄存器的任何地址数据读、写的实现,在软件上,系统中 M41ST87 部分的功能通过在系统初始化时内部功能寄存器的设置实现。

a. 系统掉电保护。读 00 H~07 H 的掉电时间,送外部 RAM 存放;置 HT(时钟刷新启停位)为 0,使时钟重新开始计时;开放中断。同时,ST(实时时钟停止位)置 1,TR(上电恢复延时设置位)设 0,使上电恢复延迟时间设为 40~200 ms;THS(掉电检测参考电压设置位)置 1,将系统参考正常电压设置为 4.75~5.5 V。

b. 备用电池电量检测。将 ABE(备用电池电量报警模式使能位)置 1,然后在主程序中定时读取 BL(备用电池电量不足标志)的状态。当 BL 为 1 时,将 RS0~RS3(方波输出频率设定位)全部置 1,SQWE(方波输出使能)置 1,SQWOD(方波输出驱动位)置 1,使发光二极管以 1 Hz 频率闪烁,提醒用户更换电池。

c. 看门狗。将 BMB₀~BMB₄(看门狗时间乘数因子位)分别设为 1100,RB₀~RB₁(看门狗时间位)都置 1,即将看门狗时间设置为 12 s;同时 WDS(看门狗激活位)置 1,使看门狗启动。

d. 外部侵入保护。将 TEB(14 H.D₇,入侵检测使能位)置 1,TIE(14 H.D₆,入侵检测中断使能位)置 1,TCM(14 H.D₅,入侵检测连接模式设置位)设为 0,TPM(14 H.D₄,入侵极性模式设置位)置 1,TDS(14 H.D₃,入侵检测采样设置位)设为 0,TCH/TCLO(14 H.D₂,入侵电流高/低设置位)置 1,CLREXT(14 H.D₁,外部 RAM 清除设置位)置 1,CLR(14 H.D₀,内部用户 RAM 清除设置位)置 1,则一路外部入侵检测启动,而且被设置为连续检测模式,发生外部入侵时发出报警中断且自动清除 RAM 中的数据。

5 结语

本文中设计的智能 IC 卡电量测量系统发挥了 M41ST87 高度集成的特性,使系统硬件、软件都得到了极大的简化,而且也使其可靠性、保密性、实用性和抗干扰能力等得到极大的改善。

参考文献:

- [1] ST Microelectronics. M41ST87Y/M41ST87W Secure Serial RTC and NVRAM supervisor with tamper detection. [EB/OL]. <http://www.st.com>, 2003.
- [2] 王爱英. 智能卡技术[M]. 北京:清华大学出版社,2000. WANG Ai-ying. Smart card technology[M]. Beijing:Tsinghua University Press,2000.
- [3] 刘健,倪建立,徐龙斌. 配电网自动化系统的组织[J]. 电网技术,1998,22(8):27-33. LIU Jian,NI Jian-li,XU Long-bin. Management to distribution automation system [J]. **Power System Technology**,1998,22(8):27-33.
- [4] 董昕,王林,杨继勋. 电能量采集及计费自动化系统设计[J]. 电力系统自动化,2000,24(7):55-57. DONG Xin,WANG Lin,YANG Ji-xun. Design and research on energy acquisition and billing automation system[J]. **Automation of Electric Power Systems**,2000,24(7):55-57.
- [5] 方彦军,孙键.智能仪器技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004. FANG Yan-jun,SUN Jian. The principle and the application of intelligent instruments[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2004.
- [6] 麻秀范,卢文冰,王宏,等. IC 卡电表的低压电力载波电动抄表方案研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(7):53-55. MA Xiu-fan,LU Wen-bing,WANG Hong,*et al.* Research on automatic IC power meter reading scheme based on LV power line carrier communication [J]. **Electric Power Automation Equipment**,2002,22(7):53-55.
- [7] 赵亮,侯国锐. 单片机 C 语言编程与实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2003. ZHAO Liang,HOU Guo-rui. The application of the C programming language using in MCU[M]. Beijing:People's Posts and Telecommunication Press,2003.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

刘经宇(1982-),男,河南信阳人,硕士研究生,从事检测技术与仪表方面的学习与研究(E-mail:liu_jingyu@163.com);方彦军(1957-),男,福建福州人,教授,博士研究生导师,从事现场检测与控制方面的教学与研究工作。

Application of M41ST87 in electric power measuring system with IC card

LIU Jing-yu,FANG Yan-jun

(Department of Automation,Wuhan University,Wuhan 430072,China)

Abstract: The M41ST87 is a supervisor IC. Its functional structure,working principle,internal register,communication interface and working mode are described briefly. A M41ST87-based electric power measuring system with IC card is introduced,including its system configuration,interfacing circuit with M41ST87,flowchart and program. Practice proves that the system simplifies software design,economizes hardware resources and enhances reliability,security and anti-jamming capability.

Key words: M41ST87; I²C bus; intelligent IC card; electric power measurement