

陶瓷学院科技艺术学院 毕业设计（论文）

中文题目：_____基于单片机的电能表的设计_____

英文题目：_____Design microcontroller-based
energy meter_____

院 系 _____景德镇陶瓷学院科技艺术学院 工程系_____

专 业 _____自动化_____

姓 名 _____聂怀华_____

学 号 _____201030455111_____

指导教师 _____吴德道_____

完成时间 _____2014-05-20_____

摘 要

随着物质生活的富裕，很多人搬入城市，电量成为大家生活的 1 部分。智能电网的概念应运而生并成为全球电力行业共同研究和探讨的热点，支撑中国乃至全球智能电网的将是通信技术、信息处理技术和控制技术。智能电表作为智能电网建设的重要基础装备，加快智能电表产业链整合，促进其产业化，对于电网实现信息化、自动化和互动化具有支撑作用。该系统主要由显示模块、键盘模块、时钟模块、存储模块、通讯模块、CPU 模块、CS5460A 电能表芯片模块和前端电路调理模块部分组成。

长期以来，我国居民用电的管理过于落后，一直采用的先用电、后抄表、再付费的传统作业模式。这种管理方式给居民和管理人员带来诸多不便，而且还存在着一些弊端与浪费。为了适应社会的需求，保证用户安全，方便，合理的用电，需要对传统的电表和用电管理模式进行改造，使之符合社会的发展需要。基于以上分析，我选择了基于单片机的智能电表的设计

关键字：CS5460A；AT89S52；LED 显示；

Abstract

Along with the material life of the rich, many people move into the city, as the 1 part of your life. The concept of smart grid emerges as the times require, and becomes a researching and discussing focus in global power industry. It can be assumed that communication technology, information processing technology and control technology will support the smart grid in China, even in the whole world. This system is mainly revealed the module, keyboard module, clock module, store module, communicate module, CPU module, CS5460A electric energy meter chip module and front circuit look after the part of the module to make up.

For a long time, China's residential electricity management too far behind, has been used before electricity, the meter, the traditional mode of operation and then pay. This management approach to the residents and managers inconvenience, but there are some drawbacks with the waste. In order to meet the needs of the community, to ensure that users safe, convenient, reasonable use of electricity, the need for traditional meter and power management mode transformation, to conform to the development needs of the community. Based on the above analysis, I chose the smart meter microcontroller based design.

Keywords: CS5460A; AT89S52; LED display

目 录

摘 要	1
1. 绪论	6
1.1 概念	6
1.2 研究现状及发展前景	6
1.3 典型结构	8
2. 智能电能表的设计方法	10
2.1 智能电能表的硬件设计方法	10
2.1.1 微处理器或微控制器	11
2.1.2 传感器	11
2.1.3 信号调理	11
2.1.4 A/D 转换器	12
2.1.5 D/A 转换器	12
2.1.6 智能电能表的通信接口	12
2.2 智能电能表的软件设计方法	14
2.3 智能电能表的抗干扰方法	16
3.1 电能表的总体方案设计	17
3.1.2 系统的基本方案	17
3.2 电能表的控制芯片	19
3.2.1 AT89C51 主要特性	19
3.2.2 AT89C51 各主要引脚功能	20
3.3 CS5460A 概述	22
3.3.1 CS5460A 管脚说明	22
3.3.2 CS5460A 外围电路及供电电路设计	23
3.3.3 微控制器 AT89C51 与 CS5460A 的接口	24
3.3.5 电源模块	25
3.3.6 电压电流采样模块	25
3.4 SPI 接口型 EEPROM 与 AT89C51 的接口	27
3.4.1 X5045 管脚分布	27
3.4.2 X5045 功能描述	27
3.4.3 X5045 硬件连接	28
3.5 时钟模块	29
3.5.1 DS1302 的引脚分布	29
3.5.2 DS1302 与 AT89C51 的硬件连接	29
3.6 通断电控制电路	31
3.7 液晶显示芯片与 AT89C51 的接口	32
3.7.1 SMS0601 的接口信号说明	32
3.7.2 SMS0601 与 AT89C51 的接口	32
3.8 按键组功能及与 AT89C51 总线口的连接	33
4. 电能表的软件设计	34
4.1 电能表的软件实现	34
4.1.1 CS5460A 与单片机的数据交换实现方法	34
4.1.2 对日历/时钟 DS1302 的读写操作的软件实现	39
4.1.4 矩阵键盘键功能处理程序	43

景德镇陶瓷学院科技艺术学院工程系毕业设计论文

4.1.5 液晶显示器 SMS0601 在电能表中显示功能实现	44
4.1.6 打印机驱动程序.....	45
6. 经济分析报告.....	48
7. 致谢辞.....	50
附录 A 参考文献.....	51
附录 B 程序清单.....	52

1. 绪论

1.1 概念

智能电能表是以微处理器或微控制器芯片(如单片机)为核心的可以存储大量的测量信息并具有对测量结果进行实时分析、综合和做出各种判断能力的仪器。智能电能表一般具有自动测量功能,强大的数据处理能力,进行自动调零和单位换算功能,能进行简单的故障提示,具有操作面板和显示器,有简单的报警功能。而本次设计中把采集,处理集中于一体,节省成本和人力资源,提高了工作效率,适应了现代化的节奏。

1.2 研究现状及发展前景

我国是电能表生产大国,目前感应式电能表、电子式电能表和智能化电能表等主要产品都已经达到或接近发达国家技术标准,生产和研发能力也已经能够满足国际市场的不同需求,而且价格优势明显,在国际市场上具有较强的竞争力。随着我国智能电网建设进程的不断推进以及相应的居民递增式阶梯电价改革模式的提出,对电能表等相关电能计量工具的要求也随之提高。我国的智能电网技术与国外先进水平在技术上差距相对较小,加上其属于低碳经济的重要组成部分,因此具有稳定的高增长前景。与国外相比,我国智能电能表功能完备、规范,阶梯电价、负荷控制等功能相对领先,更能满足我国智能电网建设工作需要。我国用电户数众多,截至 2009 年底,国家电网公司系统服务的电力用户就达 2.3 亿户之多,推广应用智能电能表需要投入巨额资金,将现有使用的普通电能表全部更换为智能电能表需要一定的过程。另外,智能电能表的功能和显示内容得到了丰富,可以为用户提供很多用电服务,但更换智能电能表需要得到用户的理解和支持,用户也还需要有一个认识的过程。中国政府计划未来五年在全国范围内,安装 2.4 亿块智能电表。这意味着在 2012 年到 2015 年之间的三年内,中国每年新安装的智能电表将高达 8000 万块。从长远来看,考虑到中国 13 亿人,中国安装智能电表的总量应该是 5 亿块,中国将成为全球最大智能电表消费市场。

在国家电网公司公布了智能化电网计划后,智能电表行业发展得到极大促进。未来智能电能表的发展趋势为:(1)模块化电能表,使电能表更换更加方便,一般非专业人士即可更换电能表,并安全可靠;(2)电能表功能多样化,通过多

功能控制器可实现智能家居控制，如可在电费便宜的时段控制洗衣机和空调的开启；（3）可实现用户计算机控制，用户在家中即可控制电能表的一些功能，对家中电器进行能源管理。

事实上，许多国家都已经出台了一系列的经济刺激方案，这也会进一步促进智能计量市场的发展。

1.3 典型结构

从结构上来说,智能电能表是一个专用的微型计算机系统,它主要由硬件和软件两部分组成。

硬件部分主要包括信号的输入通道,微控制器或微控制器及其外围电路、标准通信接口、人机交换通道,输出通道。输入通道和输出通道用来输入输出模拟量信号和数字量信号,它们通常由传感器元件、信号调理电路、A/D 转换器、D/A 转换器等组成。微控制器及其外围电路用来存储程序、数据并进行一系列的运算和处理,通常包括程序存储器、数据存储器、输入输出接口电路等组成。人机交换通道是人与仪器相互沟通的主要渠道,它主要由键盘、数码拨盘、打印机、显示器等组成。标准通信接口电路用于实现仪器与计算机的联系,以使仪器可以接受计算机的程控指令,目前用于智能电能表的通信接口主要有 GPIB、RS-232C 等。

智能电能表的软件部分主要包括监控程序和接口管理程序两部分。其中监控程序面向仪器面板键盘和显示器,通过键盘操作输入并存储所设置的功能、操作方式与工作参数;通过控制工/0 接口电路进行数据采集,对数据进行预定的设置;对数据存储器所记录的数据和状态进行各种处理;以数字、字符、图形等形式显示各种状态信息以及测量数据的处理结果。接口管理程序主要面向通信接口,其内容是接受并分析来自通信接口总线的各种有关功能、操作方式与工作参数的程控操作码,并通过通信接口输出仪器的现行工作状态及测量数据的处理结果,以响应计算机的远控命令,从而达到显示电能数据的作用。

1.4 主要特点

与传统电能表相比，智能电能表具有以下几个主要特点：

1. 测量精度高，可以利用微处理器执行指令的快速性和 A/D 转换的时间短等特点对被测量进行多次测量，然后求其平均值，就可以排除一些偶然的误差与干扰，还可以通过数字滤波，剔除粗大误差和随机误差的方法提高测量精度；
2. 能够进行间接测量，智能电能表可以利用内含的微处理器通过测量几种容易测量的参数，间接地求出某种难以测量的参数；
3. 能够自动校准，智能电能表在使用前进行自动校准，在测量过程中进行校准，从而减少误差；
4. 具有自动修正误差的能力；
5. 具有自诊断的能力，智能电能表若发生了故障，可以自检出来，仪器本身还能协助诊断发生故障的根源；
6. 能够实现复杂的控制功能；
7. 允许灵活地改变仪器的功能；
8. 智能电能表一般都配有 GPIB 或 RS232 等接口，使智能电能表具有可编程操作的能力。从而可以很方便地与计算机和其他仪器组成用户需要的多种功能的自动测量系统，来完成更复杂的测试任务。

2. 智能电能表的设计方法

2.1 智能电能表的硬件设计方法

智能电能表中均含有微处理器或微控制器，在微处理器或微控制器的外围进行设备的扩展如程序存储器 ROM、数据存储器 RAM、键盘、显示器、报警装置和通信口。作为一个完整的智能电能表还应包括输入通道和输出通道。图 2.1 表述了智能电能表的硬件结构组成原理图。

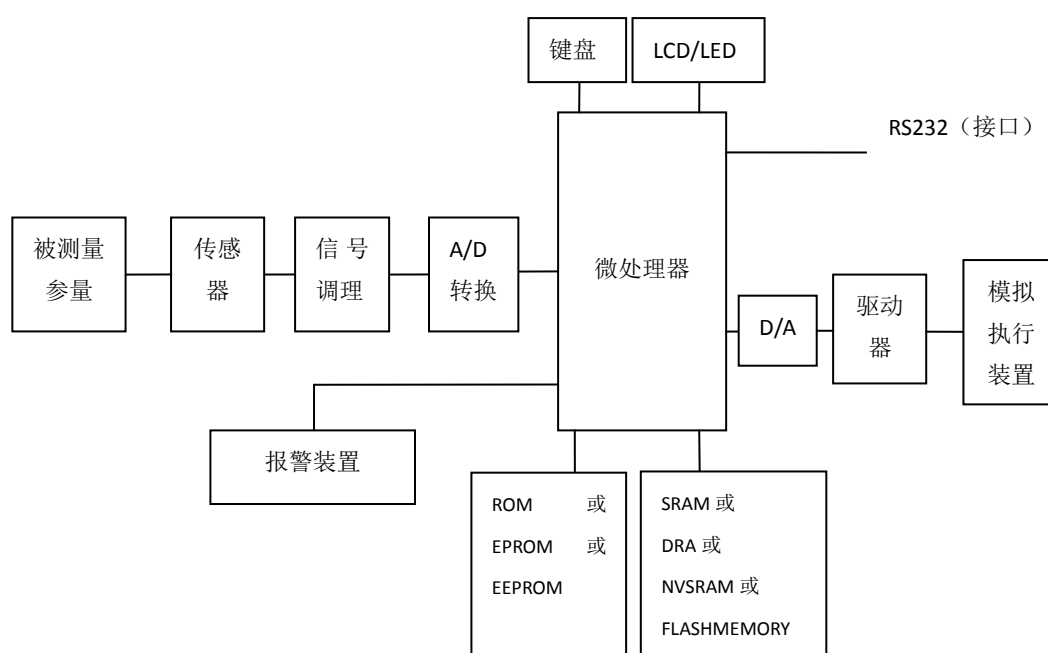
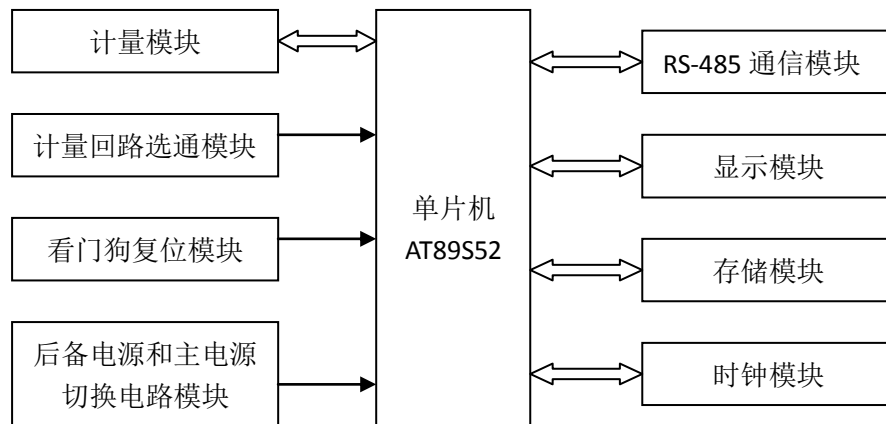


图 2.1 智能电能表硬件原理

智能电能表实际上是一个微型计算机系统，它是具有微处理器或微控制器的，并有标准总线接口的新型仪器。不同功能的智能电能表由不同部件组合而成。智能电能表的监控程序固化在程序存储器 EPROM、ROM、EEPROM 等中，被测参量通过传感器将非电量变换成电量，然后经过信号处理和模数转换后变为微处理器能直接识别的数字信号。所采集的数据或从键盘上输入的数据以及经过一定的算法运算后的数据均暂存于片内数据存储器 RAM 中。智能电能表的控制部分一般分两种情况，一是微处理器接受键盘输入的命令后，不需经过数模转换器，直接由

接口输出控制信息和数据信息，去控制一些执行机构。

智能电能表硬件设计各环节如下：



2.1.1 微处理器或微控制器

微处理器和微控制器在智能电能表中都是智能电能表的“心脏”，它们的结构、特性对智能电能表的性能影响很大。微处理器也是一种通用器件，如果给予足够的外部支持电路和处理时间，它几乎可以完成任何任务，数据处理和控制是微处理器的两个主要用途。根据智能电能表控制功能和测量功能的不同选用合适的单片机作为智能电能表的核心，从而提高智能电能表的整体性能。

2.1.2 传感器

传感器是将外界输入的被测量信号转换成电信号的元器件或装置。它作为信息获取的工具和手段，在测量控制型智能电能表中占据了极其重要的地位。传感器能转换信息存在的能量形式，通常是将其其他能量形式转换成电量形式，以便进一步加工处理，传感器的输出往往总是电信号。这主要是电信号较容易地进行放大、反馈、滤波、积分、微分、存储及远距离传送等操作。

2.1.3 信号调理

信号调理装置是通过电子线路来实现模拟信号处理，一般包括放大、滤波、整形、检波、信号转换等功能环节。信号调理的目的是对传感器输出的电信号进行必要的处理以满足信号处理后继环节的需要，使其输出信号适应 A/D 转换等环节的工作。信号调理可以改善信号质量，还可以补偿传感器的非线性，提高信噪比，增强信号的环境抗干扰能力等。

2.1.4 A/D 转换器

微处理器能处理的信号应是数字信号,因此,在智能电能表的输入通道中加入能把模拟信号转换成数字信号的芯片即 A/D 转换器。但并不是所有的输入通道都要加入 A/D 转换器,而是只有模拟量输入通道,而且输入微处理器的信号不是频率量而是数字码时,才用到 A/D 转换器。使用 A/D 转换器时应先根据输入通道的总误差,选择 A/D 转换器的精度及分辨率。根据信号对象的变化率及转换精度要求,确定 A/D 转换速度,以保证智能电能表的实时性要求,对快速信号必须考虑采样/保持电路。在选用 A/D 时还应考虑智能电能表所处的环境选择 A/D 转换器的环境参数。不同 A/D 转换器有不同的输出状态,应根据计算机的接口特性选择输出状态。

2.1.5 D/A 转换器

微处理器输出的数字控制信号通过 D/A 转换,将离散时刻输出的控制信号转换成离散模拟信号,为实现智能控制创造了必要条件。在 D/A 转换接口设计中主要考虑的问题是 D/A 转换芯片的选择、数字量的码输入及模拟量的极性输出、参考电压电流源、模拟电量输出的调整与分配等。选择 D/A 芯片时,主要考虑芯片的性能、结构及应用特性。在性能上必须满足 D/A 转换的技术要求:在结构和应用特性上应满足接口方便,外围电路简单,价格低廉等要求。

2.1.6 智能电能表的通信接口

智能电能表一般都设置有通信接口,以便能够实现程控、方便地构成自动测试系统。目前国际上采用的智能电能表的标准接口有 GPIB, RS232 等,本设计采用 RS232 接口。

1. RS-232C 标准通信接口

RS-232C 总线标准接口是目前最常用的串行通信总线接口,其逻辑电平是对地对称的,与 TTL、MOS 逻辑电平完全不同。逻辑 0 电平规定为 $+5\sim+15V$ 之间,逻辑 1 电平是 $-5V\sim-15V$ 之间。因此,RS-232C 驱动器与 TTL 电路连接必须经过电平转换。转换芯片有 MC1488, 75188(从 TTL 到 RS-232C 的电平转换);MC1489, 75189(从 RS-232C 到 TTL 的电平转换)。还有 MAXIM 的 MAX232 等等。

在当今的信息化时代,用于其他信息装置的通信技术也同样可用于嵌入式智能电能表。它主要有这样一些通信技术:

2. PCI 总线

PCI 总线技术为 CPU 和板上外设之间提供方便的高速通信连接，工作频率为 33MHz (rev2.1 支持 66MHz)。PCI 对于连接到它上面的器件是具有即插即用的高速总线。从理论上来说，可以有多达 256 个 PCI 功能器件同时挂到一个 PCI 总线上。但由于总线负载问题，同一个 PCI 总线上只能挂 4 到 8 个器件。价廉的 PCI 芯片组和广泛应用的 PCI 外设可以促使 PCI 总线成为嵌入式领域的事实上的总线标准。

3. USB 总线

通用串行总线(USB)是一种外设总线标准。它为所有的 USB 外设提供一种通用的连接，其数据率为 12Mbps/S。USB 特别适合于需要高数据率和易于即插即用的应用。需要保证带宽和有限执行时间的应用包括 PC 电话和其他语音及视频通信应用。除了这些新的多媒体设备外，USB 也用于传统的 I/O 设备。

4. IEEE1394 高速串行总线

IEEE1394 是高速串行总线，其数据率为 25-400Mbps/s，它是作为通用外设串行总线而设计的。缆线型 1394 总线可支持 63 个器件。缆线越长它能够处理的数据率就越低。一般长度为几米，IEEE1394 和 USB 都是串行协议，然而 USB 和 IEEE1394 比其竞争技术有更大的技术互补性，USB 属于低带宽到中带宽，而 IEEE1394 属于中到高带宽。

2.2 智能电能表的软件设计方法

智能电能表硬件电路确定之后,仪器的主要功能由软件实现。相应的软件有采集、采集控制、数据处理、显示、结果打印等。智能电能表的软件设计需要有一个细致全面的过程。一般先是清楚的列出智能电能表系统各系统部件与软件设计的有关特点,并进行定义和说明,以作为软件设计的根据。在此基础上写出软件的功能流程图,程序流程图。再将程序流程图的一列操作用机器码或汇编语言或高级语言译成处理器能处理的机器代码。查错和调试是智能电能表软件设计中找出并改正逻辑错误或与硬件有关的程序错误的键。在所有的完成之后还要进行文件编制。如图 2.2 所示智能电能表的软件结构按功能可分为准备程序、键功能程序和系统控制程序。同时,为了与软件结构相配合,还必须将程序存储器 (ROM) 和数据存储器 (RAM) 实现规划。

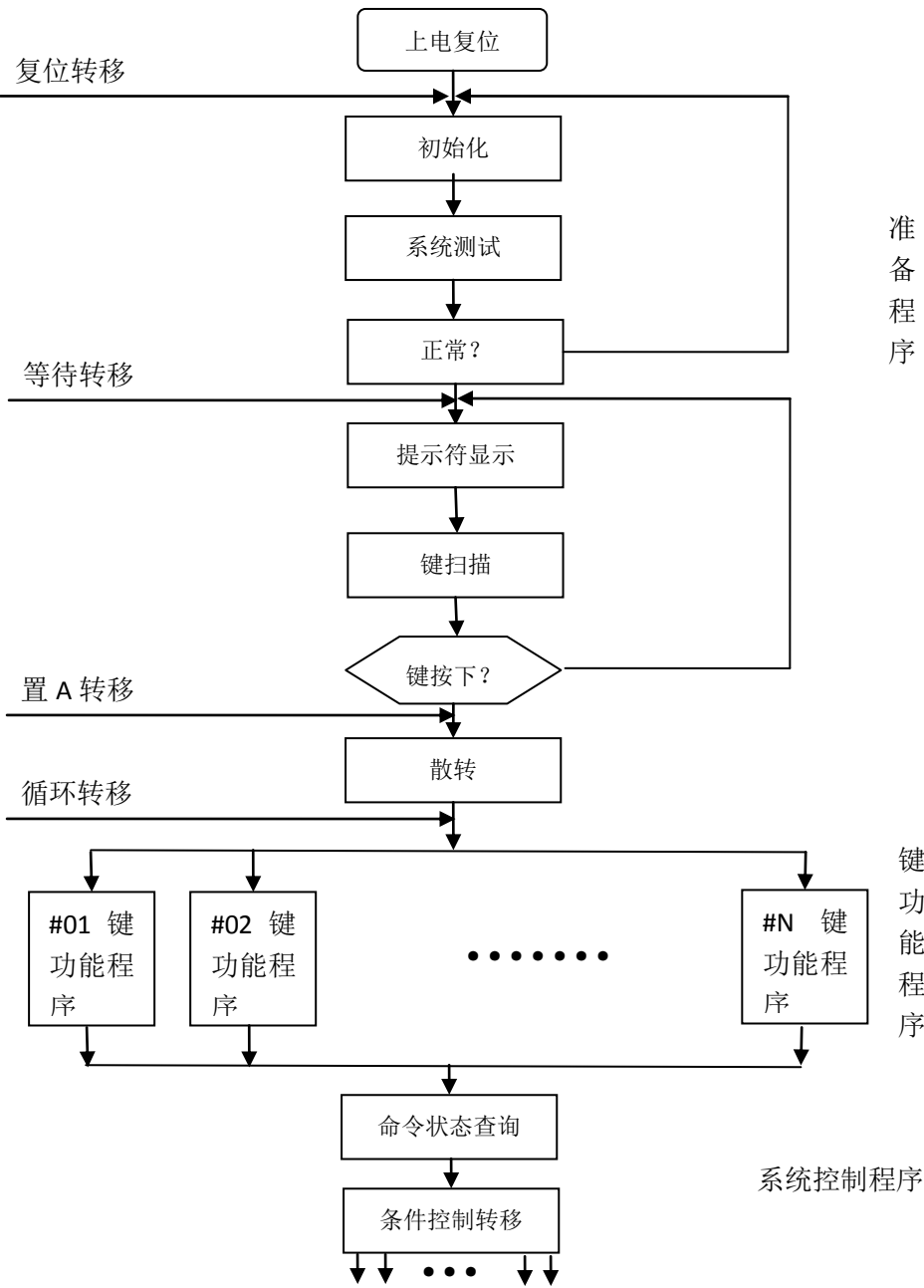


图 2.2 智能电能表的典型结构图

2.3 智能电能表的抗干扰方法

智能电能表是以微处理器为核心的微机测量控制系统,因此智能电能表在许多场合都是与计算机控制系统或 DCS (集散控制系统)联系在一起的。智能电能表在不同的应用场合所受到干扰也各不相同,当仪器在运行时所受到的干扰超过一定限度时就会严重影响智能电能表的可靠性,甚至严重影响工业生产现场,因此在设计智能电能表时要注意智能电能表的抗干扰设计。

微机测控系统的抗干扰技术在智能电能表的抗干扰技术中是同样适用的,主要分为硬件抗干扰技术和软件抗干扰技术。

硬件抗干扰技术主要包括滤波技术(无源滤波和有源滤波)、去耦技术、屏蔽技术、隔离技术、接地技术等。

窜入智能电能表的干扰,其频谱往往很宽,且具有随机性,采用硬件抗干扰方法,只能抑制某个频率段的干扰,仍有一些干扰会侵入系统。因此,除了采取硬件抗干扰方法外,还要采取软件抗干扰措施。为确保 CPU 中的程序正常运行,常常采用如下抗干扰措施:软件滤波(数字滤波技术)可以剔除模拟输入信号中的虚假信号,求取真值;除了可以使用硬件看门狗电路强制单片机从死机状态恢复到正常运行外,还可以采用软件看门狗电路或软硬结合的看门狗技术。软件看门狗技术的基本思路是:在主程序中对 T0 中断服务程序进行监视;在 T1 中断服务程序中对主程序进行监视;T0 中断监视 T1 中断。

3. 智能电能表的硬件设计

3.1 电能表的总体方案设计

3.1.1 设计功能要求

此多功能复费率电能表具有如下功能：

(1)通过单片机扩展的数据存储器可以存储本月、上月、上上月的各月电量，能存储各月峰时、平时、谷时各时段的用电量，并能通过液晶显示器显示各自的数值；

(2)具有欠压断电保护、欠费停电保护功能；

(3)具有在过电压、过电流和欠压断电保护后用户自己送电的功能；

3.1.2 系统的基本方案

该系统主要由显示模块、通讯模块、键盘控制模块、MCU 模块、电能表芯片 CS5460 模块、时钟模块、存储器模块和前端电路调理模块部分组成。本次设计中所设计的整个电能计量系统主要由电能表构成。电能表部分应包括电流传感器、电压传感器、电能计量芯片、显示器件、按键开关时钟/日历芯片、看门狗电路、扩展数据存储器以及用于通断电控制用的小功率交流开关

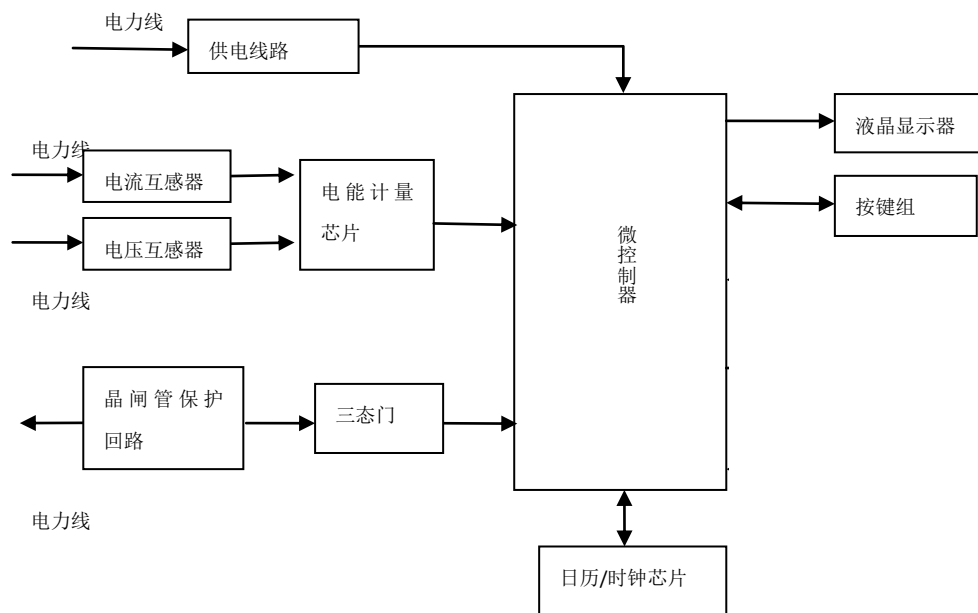


图 3.2 电能表硬件整体框图

上图 3.2 表明了电能表的硬件设计方案。其中，电能表部分需要电流互感器、电

压互感器把照明电路中的 220V 电压和大电流 (10A) 变换成电能计量芯片所要求的输入电压和输入电流范围之内。电能计量芯片根据其内部的瞬时电压和瞬时电流计算瞬时功率，再输出脉冲驱动机械式计数器或者步进电机计算用电量。

3.2 电能表的控制芯片

AT89C51 是一种带 4K 字节闪存可编程可擦除只读存储器的低电压、高性能 CMOS 8 位微处理器，俗称单片机，很多嵌入式控制系统提供了一种灵活性高且价廉的方案，其引脚排列如图 3.3 所示：

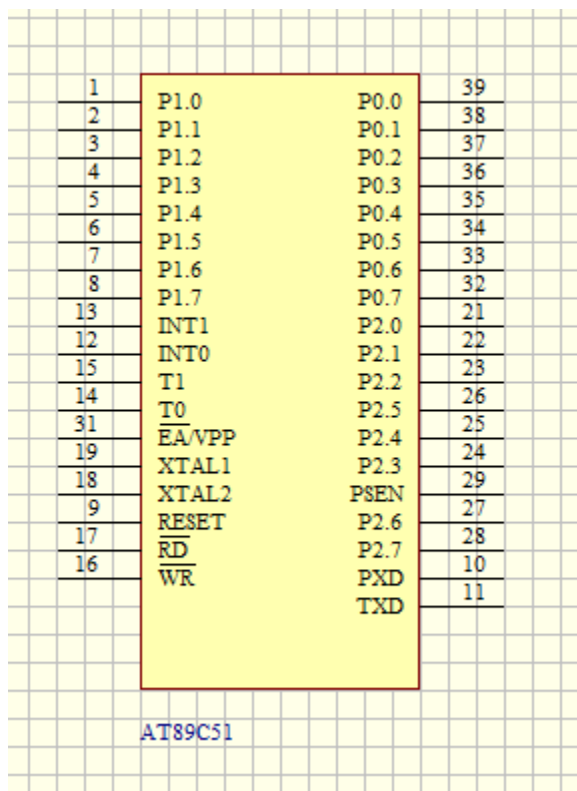


图 3.3 AT89C51 引脚结构图

3.2.1 AT89C51 主要特性

- 4K 字节可编程闪烁存储器
- 寿命：1000 写/擦循环
- 数据保留时间：10 年
- 全静态工作：0Hz-24MHz
- 三级程序存储器锁定
- 128×8 位内部 RAM
- 32 可编程 I/O 线
- 两个 16 位定时器/计数器
- 5 个中断源

- 可编程串行通道
- 低功耗的闲置和掉电模式
- 片内振荡器和时钟电路

3.2.2 AT89C51 各主要引脚功能

VCC: 供电电压。

GND: 接地。

P0 口: P0 口为一个 8 位漏级开路双向 I/O 口, 每脚可吸收 8TTL 门电流。当 P0 口的管脚第一次写 1 时, 被定义为高阻输入。P0 能够用于外部程序数据存储器, 它可以被定义为数据/地址的第八位。在 FIASH 编程时, P0 口作为原码输入口, 当 FIASH 进行校验时, P0 输出原码, 此时 P0 外部必须被拉高。

P1 口: P1 口是一个内部提供上拉电阻的 8 位双向 I/O 口, P1 口缓冲器能接收输出 4TTL 门电流。P1 口管脚写入 1 后, 被内部上拉为高, 可用作输入, P1 口被外部下拉为低电平时, 将输出电流, 这是由于内部上拉的缘故。在 FLASH 编程和校验时, P1 口作为第八位地址接收。

P2 口: P2 口为一个内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口, P2 口缓冲器可接收, 输出 4 个 TTL 门电流, 当 P2 口被写 “1” 时, 其管脚被内部上拉电阻拉高, 且作为输入。并因此作为输入时, P2 口的管脚被外部拉低, 将输出电流。这是由于内部上拉的缘故。P2 口当用于外部程序存储器或 16 位地址外部数据存储器进行存取时, P2 口输出地址的高八位。在给出地址 “1” 时, 它利用内部上拉优势, 当对外部八位地址数据存储器进行读写时, P2 口输出其特殊功能寄存器的内容。P2 口在 FLASH 编程和校验时接收高八位地址信号和控制信号。

P3 口: P3 口管脚是 8 个带内部上拉电阻的双向 I/O 口, 可接收输出 4 个 TTL 门电流。当 P3 口写入 “1” 后, 它们被内部上拉为高电平, 并用作输入。作为输入, 由于外部下拉为低电平, P3 口将输出电流 (ILL) 这是由于上拉的缘故。

P3 口也可作为 AT89C51 的一些特殊功能口, 如下所示:

P3 口管脚 备选功能

P30 RXD (串行输入口)

P31 TXD (串行输出口)

P32 /INT0 (外部中断 0)

P33 /INT1（外部中断 1）

P34 T0（记时器 0 外部输入）

P35 T1（记时器 1 外部输入）

P36 /WR（外部数据存储器写选通）

P37 /RD（外部数据存储器读选通）

P3 口同时为闪烁编程和编程校验接收一些控制信号。

RST：复位输入。当振荡器复位器件时，要保持 RST 脚两个机器周期的高电平时间。

PSEN：外部程序存储器的选通信号。在由外部程序存储器取指期间，每个机器周期两次/PSEN 有效。但在访问外部数据存储器时，这两次有效的/PSEN 信号将不出现。

EA/VP：当/EA 保持低电平时，则在此期间外部程序存储器（0000H-FFFFH），不管是否有内部程序存储器。注意加密方式 1 时，/EA 将内部锁定为 RESET；当/EA 端保持高电平时，此间内部程序存储器。在 FLASH 编程期间，此引脚也用于施加 12V 编程电源（VPP）。

X1：反向振荡放大器的输入及内部时钟工作电路的输入。

X2：来自反向振荡器的输出。

3.3 CS5460A 概述

3.3.1 CS5460A 管脚说明

CS5460A 芯片有 24 个引脚。它的管脚分布如图 3.4 所示。各管脚功能说明如下：

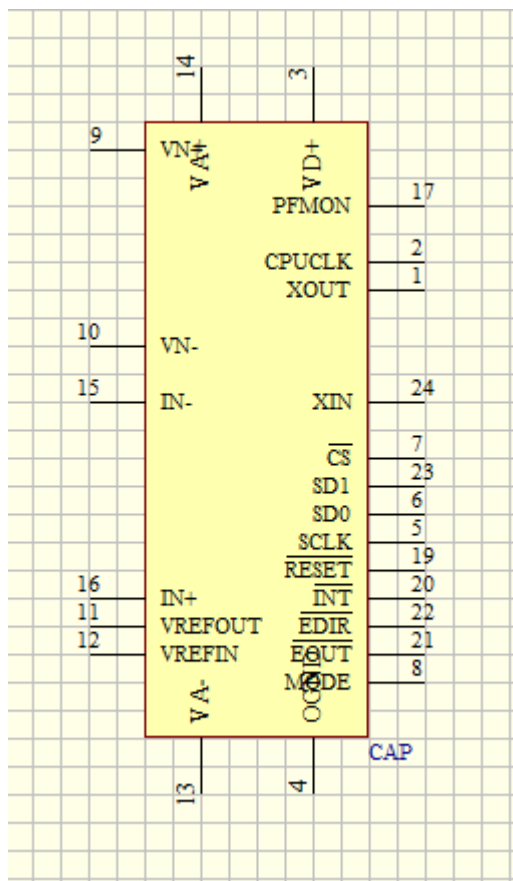


图 3.4 CS5460A 的引脚图

XOUT、XIN: 系统时钟输出引脚和系统时钟输入引脚。这两个引脚接 2.5–20MHZ 的晶振 CS5460A 提供系统时钟，并通过片内的分频单元的分频得到相应的时钟频率。另外也可通过 XIN 引脚使用外部的 CMOS 时钟为 CS5460A 提供系统时钟。

CPUCLK: 片内振荡器输出引脚。输出的时钟频率可以驱动一个标准的 CMOS 负载。

SCLK: 串行时钟输入引脚。在这个引脚上输入的时钟信号确定 SDI 和 SD0 引脚上的数据输入输出速率。在片内与此引脚相连的是一个施密特触发器，其允许

通过具有慢上升时间的信号通过。仅在 \overline{CS} 有效时才识别时钟信号。

SDO: 串行数据输出引脚。

\overline{CS} : 片选引脚。

MODE: 模式选择引脚。当为逻辑高电平时, CS5460A 可在一个外部串行 EEPROM 的帮助下执行自引导功能接收命令和设置; 当为逻辑低电平时, CS5460A 可与微处理器或微控制器进行数据交换。此引脚悬空时为低电平。

\overline{INT} : 中断输出引脚。

\overline{EOUT} : 电能输出引脚。

\overline{EDIR} : 电能方向指示引脚。当电能输出为负时此引脚输出一脉冲。

SDI: 串行数据输入引脚。

VIN+、VIN-: 电压通道的差分模拟输入引脚。

VREFOUT: 参考电压输出引脚。此引脚的电压相对于 VA- 为 2.5V。

VREFIN: 参考电压输入引脚。输入此引脚的电压作为调节器的参考电压。

IIN+、IIN-: 电流通道的差分模拟输入引脚。

VD+: 正数字电源。

DGND: 数字地。

VA+、VA-: 正模拟电源和负模拟电源。

PFMON: 电源故障监测引脚。用于监控模拟电源。

\overline{RESET} : 复位引脚。当此引脚电平为低时, CS5460A 的所有内部寄存器都被设置为缺省值。

3.3.2 CS5460A 外围电路及供电电路设计

在电路图 3.4.3 中，参考电压输入端 (VREFIN) 和参考电压输出端 (VREFOUT) 直接相连并通过 0.1pF 电容接地，模拟电源负引脚 (VA-) 也直接接地。这使得片上模/数转换器的参考电压为 0 伏，并且使用变换器内部 2.5V 的基准电压，0.1pF 的电容器起作电源抗干扰的作用。根据单相电子式电能表使用的具体情况在系统时钟输出引脚 (XOUT) 和系统时钟输入引脚 (XIN) 之间选择 4.096MHz 的晶振和 K=1 的分频系数为 CS5460A 提供系统时钟。

微控制器 AT89C51 与 Intel 系列的 80C51 微控制器的指令集和管脚兼容, 微控制器内有 4K 字节的可擦写闪烁只读程序存储器和 256 字节的数据存储器。它具有掉电模式和闲置状态两种工作方式。其工作原理同 8031 微控制器。

24

另外,使用 AT89C51 的外部中断 12 (INT0) 接收 CS5460A 的电能输出引脚 ($\overline{EO\overline{T}}$) 输出的表示电能的脉冲信号,当 AT89C51 接收到一个脉冲时发生中断使存放累计电能值的存储单元的值按一个脉冲所代表的电能数增加。AT89C51 的 P10、P11、P12 引脚分别与 CS5460A 的 SDI、SDO、SCLK 引脚交换数据。CS5460A 的 $\overline{IN\overline{G}}$ 输出的低电平信号说明 CS5460A 发生了一个激活的事件,单片机 AT89C51 接收到这个信号就发生中断向 CS5460A 写入正确地命令字并使 CS5460A 的 $\overline{IN\overline{G}}$ 变为逻辑高电平。CS5460A 的复位引脚接 AT89C51 的 P14,CS5460A 的复位信号由 AT89C51 提供。

3.3.5 电源模块

。由于电能表属于不间断工作的电力计量产品,因而其电源电路是其设计的关键部分之一。电源电路负责给各个硬件模块供电,以保证整个电能表的正常运行。

CS5460A 的电源电压提供方式可以采用外接直流稳压电源供电,或通过变压器 T_{el1} 变压成 12V 直流电压后再用分压的方式供电也可使用锂电池供电三种方式,从可靠性和实用性来说选择通过变压器降压的方式为 CS5460A 供电,变压器 T_{al1} 变比选择 220V/12V,因此在变压器的次级可得到 12v 的交流电压。变压器次级接二极管的作用是为后继电路提供直流电压(即起全波整流作用)。电源电路中设计由两个一阶无源 RC 滤波网络组成的二阶滤波电路滤掉直流电压中的噪声信号,再通过一个 0.1 μ F 的电容器提高抗干扰能力。电源失效监控引脚(PFMON)监控模拟电源,相对 VA-引脚电平其典型阈值电压为 2.45V。当达不到阈值电压时,在电源监控单元就会使 CS5460A 复位。

3.3.6 电压电流采样模块

在能量测量中使用电压互感器和电流互感器与电力线隔离,减小电力线上交流信号中窜入CS5460A电压、电流输入通道的各种干扰信号。电压互感器具有高精度、低阻抗特性,并且即使在高次谐波情况下具有很小的相延迟。在采用互感器隔离措施后,CS5460A的数字接口不必再采用隔离技术。在照明电力干线中,相电压有效值为220v,线电流可以选择10A的有效值,在这种条件下,假定电力线上的最大额定电压为300V,最大额定电流为30A。对于正弦曲线的交流信号,

电压/电流有效值以最大直流输入电平的0.7071倍进行准确测量。但是在实际使用中,交流信号的波形通常不是以准确的正弦曲线形式出现,为了在两个输入通道允许有一些超范围的信号进入,常用最大电压有效值和最大电流有效值的0.6倍作为两个通道的输入电压范围。因此输入通道的输入电压最大值就应为 $0.6 \times 250\text{mV} = 150\text{mV}$,其在规定的250mV范围内。由此计算电压 $K_{\text{ava}} = 150\text{mV} / 300\text{V} = 0.0005$,此时电压互感器T2的变比为2000/1;计算电流增益 $K_{\text{V}} = 150\text{mV} / 30\text{A} = 0.0050\text{hms}$ 。 $R_{\text{s}} = 50\Omega$ 时,电流互感器T3的变比为1/1000。

如图3.4.3,在电流输入通道中,电阻 $R_{\text{I}+}$ 有两个作用:一是和配合与C1构成一阶低通滤波器,这个滤波器除了滤除远远超过有用频率的宽带噪声还作为抗混叠滤波器以阻止A/D转换器接收高于其采样频率一半的输入信号;二是为IIN+输入引脚提供限流保护。 $R_{\text{I}+}$ 的典型值取470 Ω ,C1放入典型值取2.2 μF 。在电压通道中的电阻、电容所起的作用与电流通道中的电阻、电容所起的作用相同,其典型取值也是相同的。

3.4 SPI 接口型 EEPROM 与 AT89C51 的接口

3.4.1 X5045 管脚分布

X5045的管脚图如图3.8所示。

\overline{CS} /WDI:片选引脚/看门狗输入引脚。

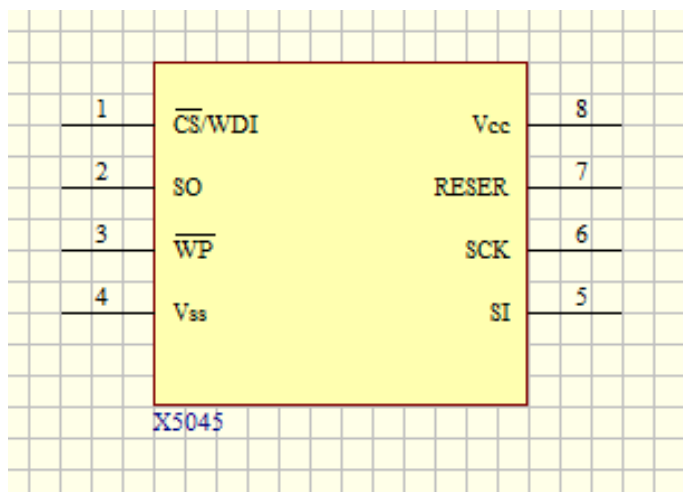


图3.8

SO、SI:串行数据输出引脚和输入引脚。

\overline{WP} :写保护输入引脚。当其为低电平时,写操作被禁止;在写操作过程中,除 \overline{CS} 必须保持低电平外, \overline{WP} 必须保持高电平。

X5045管脚分布图

RESET:复位输出引脚。只要 VCC低于VCC检测电平,RESET即变为高电平,并保持高电平直至VCC高于VCC最小检测电平200ms为止。看门狗定时器超过时也会引起RESET变为高电平。

SCK:串行时钟输入引脚。输入数据在时钟的上升沿被锁存,输出数据在时钟的下降沿被同步输出。

VCC、VSS:电源正极和电源负极。

3.4.2 X5045 功能描述

X5045 把上电复位控制、看门狗定时器、电源监控和块锁存保护的串行的EEPROM 四种功能集成在单个封装内,从而提高了自身可靠性,降低了系统成本,

并减少了对电路板空间的要求。上电复位控制的功能是在电源稳定和振荡器可靠振荡条件下允许处理器执行代码。看门狗定时器对 CPU(或 MCU)提供了独立的保护机制。当在可选的超时周期之内控制器不能重启定时器时, X5045 看门狗激活 RESET 信号, 使系统重新复位, 退出故障。可选的三个超时周期有三个预置值 (1.4s、600ms、200ms), 其预置方法是给状态寄存器的看门狗位赋值的方式完成, 赋值为 00 则看门狗定时周期为 1.4s, 赋值为 01 则看门狗定时周期为 600ms, 赋值为 10 则看门狗定时周期为 200ms, 赋值为 11 则禁止看门狗功能。一旦通过编程预置, 这个超时值将保持不变。X5045 的电源监控电路提供在 VCC 低于限值时, 响应 RESET 信号的功能, 可使系统在开机、关机过程中稳定可靠, 不出意外。X5045 的存储器部分是 CMOS 的 4K 位串行 EEPROM, 结构为 512*8 的十六字节页写方式, 串口协议为 SPI, 简单易行, 数据可保存 100 年。

3.4.3 X5045 硬件连接

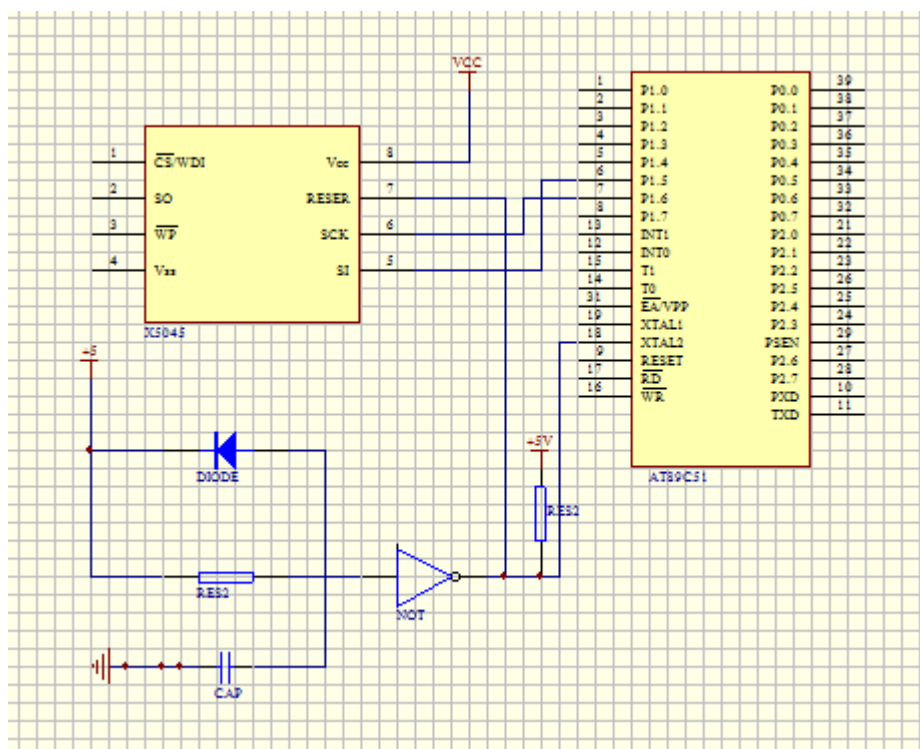


图3.9 X5045的硬件连接电路图

X5045的复位引脚RESET与AT89C51的复位引脚相连为AT89C51提供复位信号, 从而起AT89C51单片机的看门狗电路的作用。AT89C51的P13、PI5、PI6、P17引脚分别与X5045的 \overline{CS} 、S0、SI、SCLK引脚交换数据。写保护引脚(\overline{WP})与电源相连。

3.5 时钟模块

对电能表来说,它需要根据时间段的划分来计量各时段的电能值,因此在电能表中需要一个时钟芯片计时。DS1302是一种高性能、低功耗、带RAM的实时时钟芯片,它工作电压宽达2.5—5.5V,采用三线接口与单片机进行同步通信,并可采用突发方式一次传送

多个字节的时钟信号或RAM数据。DS1302内部有一个 31×8 的用于临时性存放数据的RAM寄存器。

3.5.1 DS1302 的引脚分布

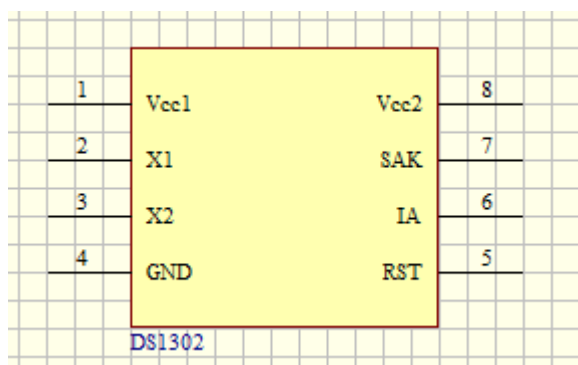
X1 X2:32.768KHz晶振输入引脚。

GND:接地引脚。

SCLK:串行时钟输入引脚。

I/O:数据输入输出引脚。

$\overline{\text{RST}}$:复位引脚。



$V_{cc2} \setminus V_{cc1}$:电源引脚。

图3.10 DS1302的管脚分布图

3.5.2 DS1302 与 AT89C51 的硬件连接

DS1302与AT89C51的连接只需三条线, SCLK I/O、 $\overline{\text{RST}}$ 、分别与AT89C51的T0、P27、P26连接。 V_{cc2} 在双电源系统中提供主电源,在这种运行方式下 V_{cc1} 连接到备份电源,以便在没有主电源的情况下能保存时间信息以及数据。DS1302由 $V_{cc2} \setminus V_{cc1}$ 两者中的较大者供电。当 V_{cc2} 大于 $V_{cc1} + 0.2V$ 时, V_{cc2} 给DS1302供电;当

3.6 通断电控制电路

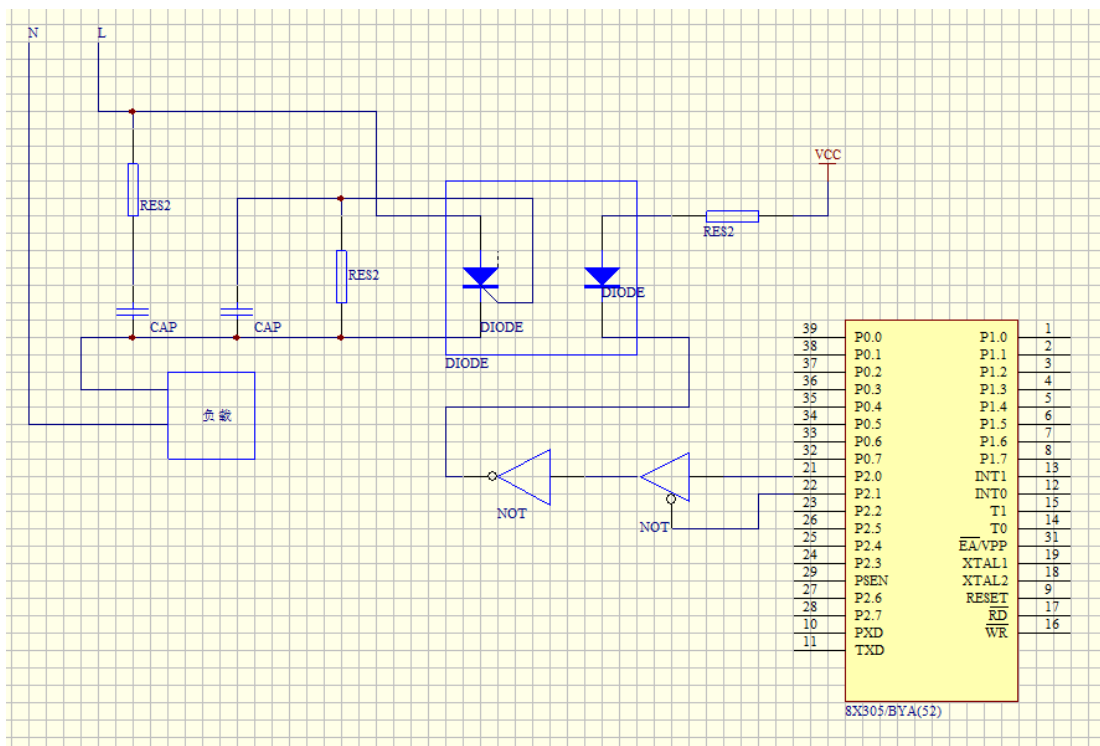


图3.12 通断控制电路

对由过电压、过电流和欠电压造成的断电保护可以由用户自己通过电能表上的送电键恢复自家的通电状态；对由于用户欠交电费而停电的情况，用户不能给自家送电，而需要由电力管理部门的管理人员控制。为了实现这个功能，在电路设计过程中使用了三态门74LS125再经一个反相器74LS04进行控制(如图3.12)。如果是由于过电压、过电流和欠电压造成的停电，AT89C51的P20置低电平，P21置高电平，因此在用户按下电能表上的送电键后只需改变P20的状态并且只能改变P20的电平状态；如果是由于欠费造成的停电，AT89C51的P20置低电平，P21同时也被置成低电平，因此在电力管理员通过手持抄录器发送响应命令时才能改变P20的电平状态和P21的电平状态。通过这样的措施达到催缴电费的目的。

在电路中 R_G ， C_G 用以减少干扰，并可改善器件的临界断态电压上升率。但 R_G ， C_G 的接入会降低触发灵敏度，通常 R_G 可取20K欧。 C_G 为0.01 μf 。 R_S ， C_S 为阻容保护电路，对光控晶闸管起保护作用。

3.7 液晶显示芯片与 AT89C51 的接口

液晶显示器选用 SMSO601,该液晶显示器可直接与 AT89C51 单片机采用两个总线实现数据的串行传送而不需要单独的显示器驱动芯片,从而减少了整个电能表的空间。SMSO601 一体化显示器具有 6 位数字显示功能,并提供两个时间分隔符(如图 3.5)。

3.7.1 SMS0601 的接口信号说明

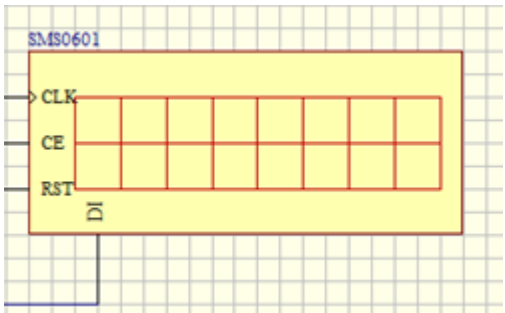


图 3.5 SMSO601 外形图

图 3.5 中的 SMS0601 有四根接口信号线,它们分别是:

- 1. DI:串行数据输入引脚。显示数据和命令字从此引脚串行输入。
- 2. CLK:串行移位脉冲输入引脚。此引脚输入脉冲为在 DI 引脚上的数据和命令输入提供时序。

另: VDD:电源正极,模块工作电压位 2.7-5.5V。VSS:电源地。

3.7.2 SMS0601 与 AT89C51 的接口

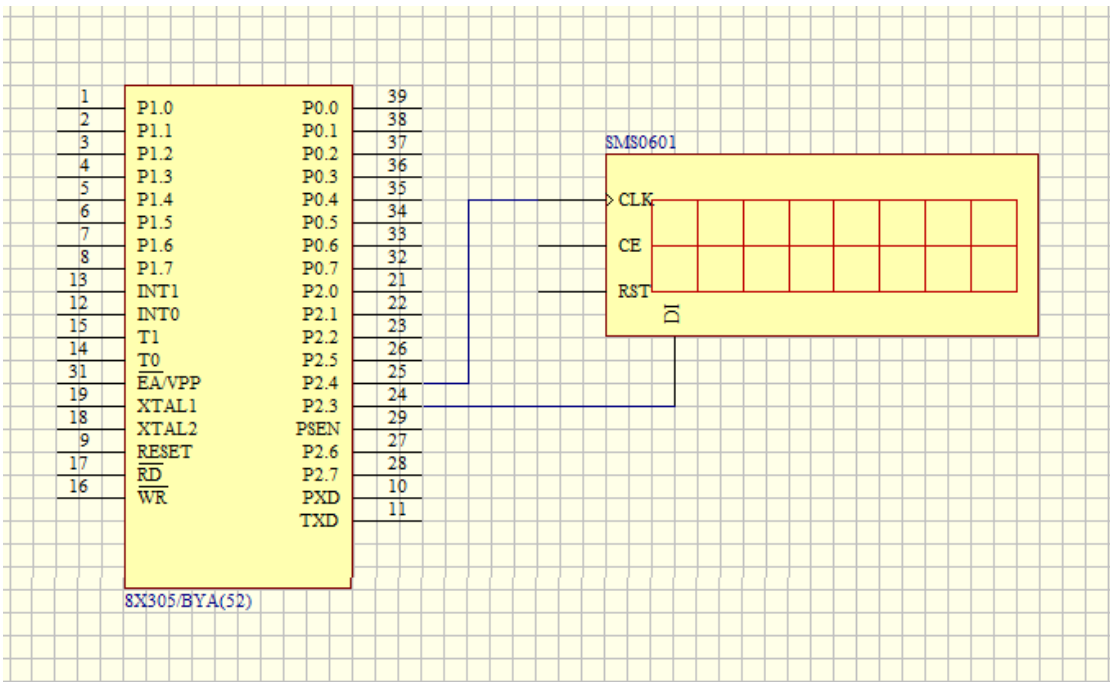


图 3.6 SMS0601 与 AT89C51 的接口电路

利用 AT89C51 的 P23、P24 分别与 SMS0601 的串行数据输入引脚(DI)、串

行移位脉冲输入引脚(CLK)连接。

3.8 按键组功能及与 AT89C51 总线口的连接

电能表上的所有按键可提供用户按键查询本月的峰时、平时、谷时各时段的用电量以及本月用电总量，上月的峰时、平时、谷时各时段的用电量以及上月用电总量，上上月的峰时、平时、谷时各时段的用电量以及上上月用电总量。可以查询瞬时电流值，瞬时电压值，电压有效值，电流有效值，各时段值的设置值。因此键盘组中包括峰时键(7EH)，平时键(OB7H)，

谷时键(OBBH)，本月键(77H)，上月键(7BH)，上上月键(7DH)，总电量键(OBDH)，瞬时电流键(OBEH)，瞬时电压键(OD7H)，电压有效键(ODBH)，电流有效键(ODDH)，起始时刻键(OEBH)，终止时刻键(OEDH)，送电键(ODEH)、时段查询键(OE7H)，取消键(OEEH)。

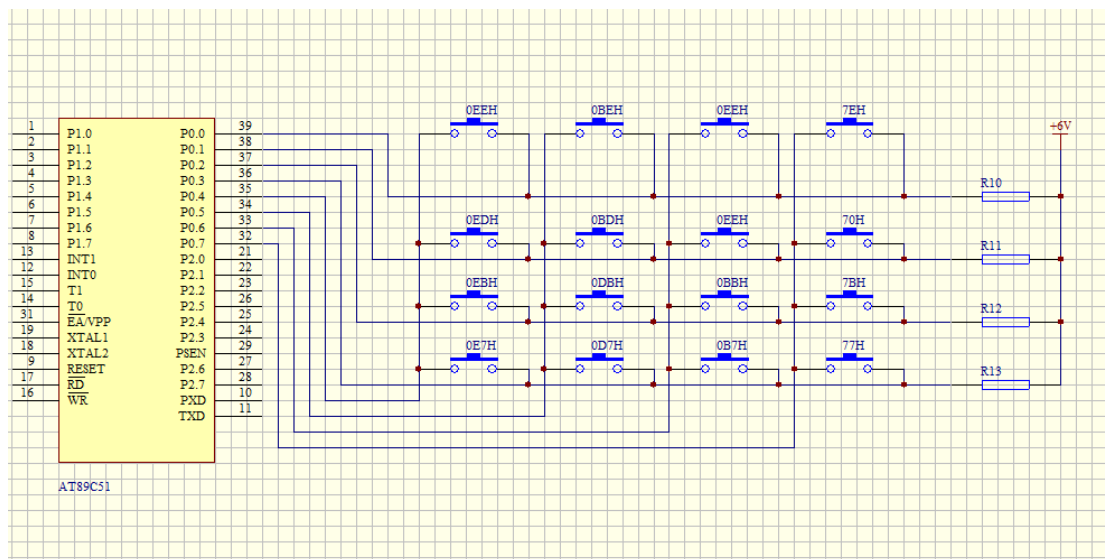


图 3.7 按键组与 AT89C51 的接口电路

如图 3.7 所示所设计的按键组采用由 P00、P01、P02、P03 口四根数据线提供行线，P04、P05、P06、P07 提供列线组成的行列式键盘。按键设置在行、列线交点，行、列线分别连接到按键开关的两端。当行线通过上拉电阻接+5V 时，被钳位在高电平状态。键盘有无键按下是由列线送入全扫描字、行线读入列线状态来判断的。其方法是：给 P04、P05、P06、P07 列线均置成低电平，然后将行线电平状态读入累加器中。如果有键按下，总会有一根行线电平被拉至低电平，从而使行输入不全为零。键盘中哪一个键被按下是列线逐行置低电平后，检查行线输入状态。如果全为 1，则所按下的键不在此行，如果不全为 1，则所按下的键必在此行。

4. 电能表的软件设计

在单片机测量系统中，软件的重要性与硬件同等重要。硬件是躯体，软件是灵魂，但系统的硬件电路确定之后，系统的主要功能还要靠软件来实现，而且软件的设计很大程度上决定了系统的性能。

本系统的软件设计是在 KEIL ULINK 的软件环境下采用 C 语言编程和调试的，KEIL 系列软件具有良好的调试界面，优秀的编译效果，丰富的使用资料，应用十分广泛，而 C 语言功能丰富，表达能力强，目标程序效率高，可移植性好，即具有高级语言的优点，又具有低级语言的许多特点，两者的完美结合，很好的实现了软件功能。

4.1 电能表的软件实现

根据电能表的硬件电路设计，电能表运行的过程可以表述为：

(1) 当 CS5460A 未输出电能脉冲和方向脉冲以及中断脉冲时，单片机 AT89C51 循环执行清看门狗程序、执行显示本月累计电量值的显示程序、判断是否更新时段值、判断是否有红外线通信发生、读 CS5460A 的电流瞬时寄存器和电压瞬时寄存器的值以判断是否该过电流或过电压或欠压断电保护。完成以上功能后程序随时准备接收外部中断 $\overline{INT0}$ 和 $\overline{INT1}$ ，每循环一次程序就查询一次按键开关的状态，根据所按的开关执行相应的程序。

(2) 当 CS5460A 的电能输出引脚 (\overline{EOUT}) 和电能方向指示器引脚 (\overline{EDIR}) 输出脉冲时，中断服务程序根据记忆在时钟芯片 DS1302 中的时段参数以及实时时钟的值来判断当前的时段类型，单片机响应外部中断进行电量的累加。将结果存放到扩展的数据存储器内，然后退出中断服务程序进入过程 (1)。

电能表的运行过程用汇编程序主程序的流程图表述为图 4.1。根据图 4.1 编制的程序可以完成所设计的电能表的全部功能。每一个功能单元的程序实现方法可以分以下几部分说明：

4.1.1 CS5460A 与单片机的数据交换实现方法

CS5460A 芯片内部包括 16 个 24 位寄存器：配置寄存器、直流电流偏移寄存器、交流电压寄存器、AC/DC 电流增益寄存器、AC/DC 电压增益寄存器、周期计数寄存器、脉冲速率寄存器、有符号寄存器、无符号寄存器、时基校准寄存器、

功率偏移寄存器、交流电流偏移寄存器、交流电压偏移寄存器、状态寄存器、屏蔽寄存器、控制寄存器。这些寄存器用来完成对 CS5460A 的设置、采集数据的存储以及串行输入输出的控制。

CS5460A的串行口有一个包括接收缓冲区、发送缓冲区的命令解释状态机。状态机在串行时钟的上升沿解释8位的命令字，状态机在解释完命令字之后立即执行外部微控制器请求的命令，或者为寄存器的数据传输做准备。当一个写操作到执行一个发送之前的24个串行时钟完成时，需要一个内部寄存器把读数据请求传送到发送缓冲区。

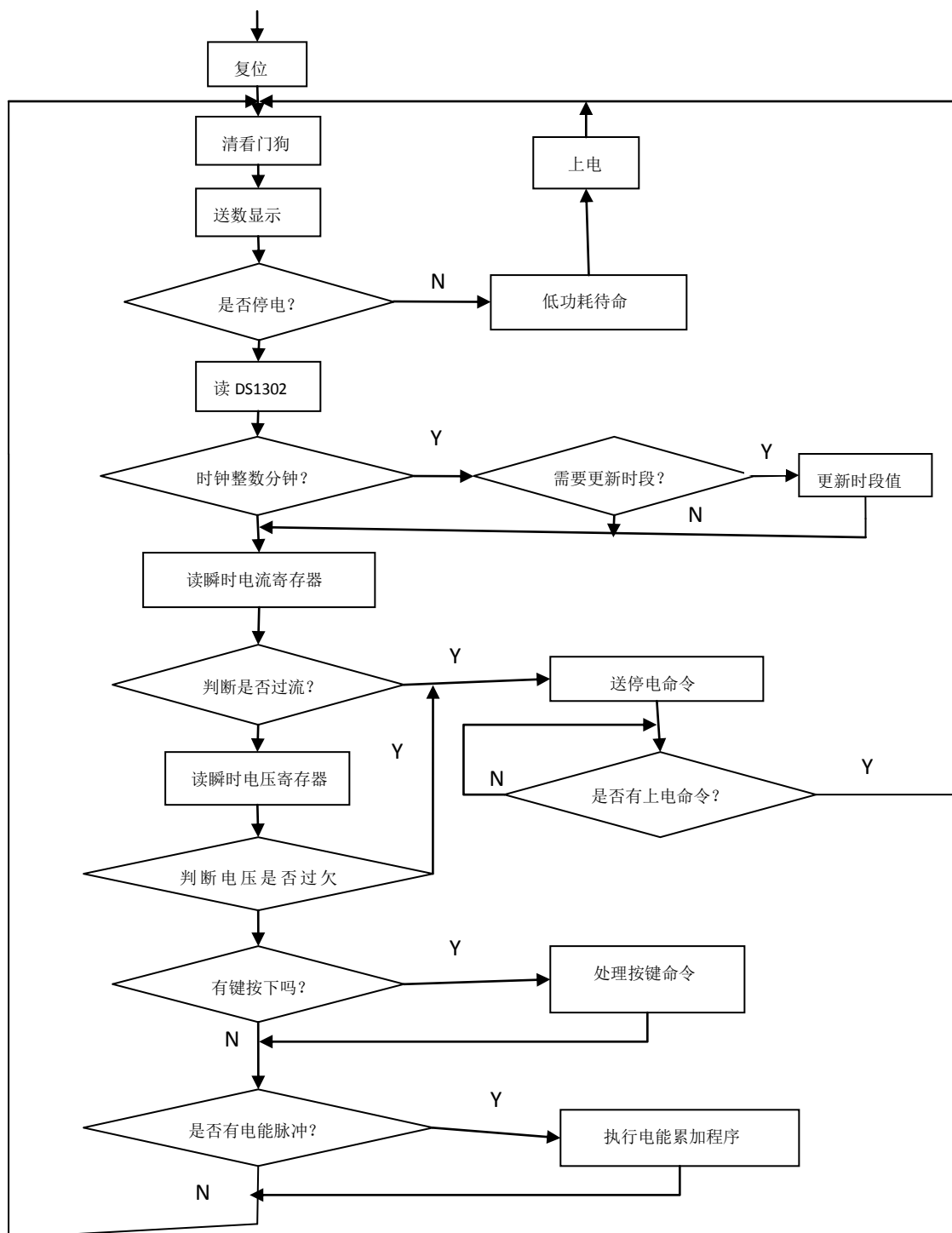


图 4.1 电能表主程序流程图

系统一旦上电，CS5460A 就被初始化并处于有效操作状态。系统上电之后，设备就等待接收有效的命令。状态机接收并解码一个有效命令字之后就立即命令转换器执行一个系统操作或与内部寄存器之间传送数据。CS5460A 的所有命令字

都是一个字节。写到寄存器的命令必须紧跟 1、2 或 3 字节的数据。其主要包括起动转换命令，SYNC0 命令，SYNC1 命令，上电命令、掉电命令、校准命令，寄存器读/写命令。

对 CS5460A 的寄存器的访问都是通过 SPI 串行口进行的。可以看出，数据传送的初始化是通过在数据传输之间向串行口（SDI 引脚）按高位在先的方式发送一个 8 位的命令字实现的。当命令字包括了一个写操作时，串行口将在 SDI 引脚继续为紧接的 24 个串行时钟周期记录数据位，其顺序也是高位在先。通知一个寄存器写操作的命令字必须紧跟 24 位数据。当以读命令字初始化数据传输时，串行口将在 SD0 引脚为紧接的 8、16 或 24 个串行时钟周期按高位在先的原则传送寄存器的各位数字。通知寄存器写的命令字必须紧跟 8、16 或 24 位数据。在读寄存器的数据时 AT89C51 可以发送一个新的命令。串行口一旦接收到新的命令，它就立即执行并可能结束前一个寄存器读。根据串行口数据传送的时序写出的 CS5460A 的命令字写入子程序、读寄存器子程序、写寄存器子程序如下：

```

SDI                EQU        P10
SD0                EQU        P11
SCLK               EQU        P12
; 命令字写入程序
WR_COM:            MOV        A,  R1        ; 在主程序中将命令字送到 R1
中
                                MOV        R7, #8H        ; 将命令字传送的位数 8 送 R7
COMWORDSEND:       RLC          A
                                MOV        SDI, C
                                SETB       SCLK
                                CLR        SCLK           ; 在此形成一个脉冲下降沿，数据
写入
                                DJNZ      R7, COMWORDSEND ; 判断 8 个数据位是否传送
完
WR_COM_END:        RET
; 数据写入子程序，将写入数据的高、中、低字节存放到 42H、41H、40H

```

中

```

WR_DATA:      LCALL      WR_COM    ; 调用命令字写入子程序
               MOV       R2, #42H
               MOV       R3, #03H
WR_LP2:        MOV       R7, #08H
               MOV       A,  @R2
WR_LP1:        RLC        A
               MOV       5DI, C
               SETB      SCLR
               CLR       SCLR
               DJNE      R7, WR_LP1
               DEC       R3
               DJNE      R2, WR_LP2
               RET
    
```

；数据读取子程序，将读出的数据的高、中、低字节存放到 42H、41H、40H

中

```

RD_DATA;       LCALL      WR_COM
               MOV       R2, #42H
               MOV       R3, #03H
RD_LP2:        MOV       R7, #08H
               MOV       R0, #0FEH
RD_LP1:        CLR       SCLK
               MOV       C, SD0
               RLC        A
               MOV       R1, A
               MOV       A, R0
               RLC        A
               MOV       R0, A
               MOV       SDI, C
    
```

```
STEB      SCLK
MOV       A, R1
DJNE     R4, RD_LP1
MOV      @R2, A
DEC      R2
DJNE     R3, RD_LP2
RET
```

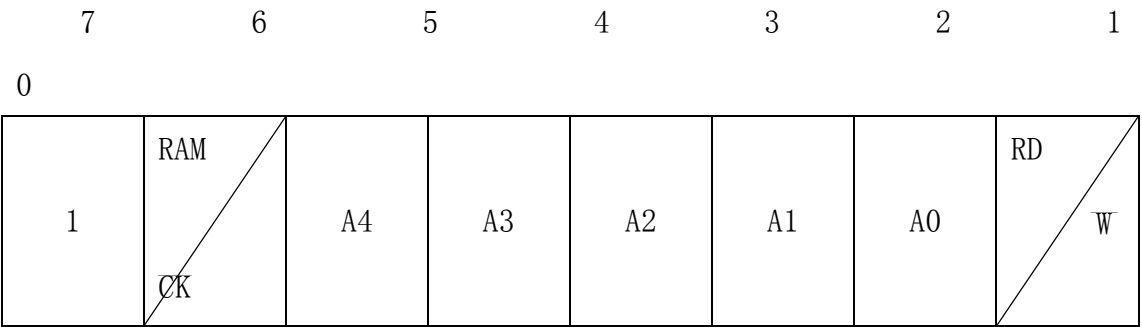
在电能表中当单片机 AT89C51 需要读取 CS5460A 的寄存器获取瞬时电流、瞬时电压、瞬时功率，设置 CS5460A 的寄存器的值时，都是通过调用这两个程序来实现的。

4.1.2 对日历/时钟 DS1302 的读写操作的软件实现

在电能表中与时间有关的判断和时间读取都是通过 DS1302 与 AT89C51 的接口完成的。在电能表接到时钟校正信号时，电能表的 AT89C51 就会向 DS1302 写命令字；在判断时段时，需要读取 DS1302 的时间寄存器以及片内数据存储器完成时间段的比较；用户进行时段设置查询时，需要读取 DS1302 片内的数据存储器。

DS1302 所有数据的读写都是通过向 DS1302 写入命令字的方式告诉其读写地址单元以及将进行的是读操作还是写操作。每一数据传送由命令字节初始化。最高有效位 MSB(位 7)必须为逻辑 1，如果它是 0，禁止写 DS1302。位 6 为逻辑 0 指定时钟/日历数据；逻辑 1 指定 RAM 数据。位 1 至 5 指定进行输入或输出的特定寄存器。最低有效位 LSB(位 0)为逻辑 0 指定进行写操作(输入)；逻辑 1 指定读操作(输出)。

DS1302 的命令字格式：



4.1.3 在电能表中对串行 EEPROM 的读写

X5045 片内包括一个指令寄存器、写使能寄存器、状态寄存器。送往指令寄存器的命令集如表 4.1 所示。AT89C51 对指令寄存器的访问是通过串行输入线 (SI) 进行的。在片选信号 (\overline{CS}) 为低电平并且写保护信号 (\overline{WP}) 为高电平时, 数据在串行时钟信号 SCK 的上升沿由时钟同步输入。所有数据的传输都是以高位在前的方式进行传送。在用 WREN 指令置位写使能锁存器之后进行写操作、再用 WRDI 指令复位锁存器。状态寄存器中可以设置看门狗定时器的定时时间, 在电能表的程序设计中, 选择了看门狗定时周期位 600ms。

指令名	指令格式	操作
WREN	00000110	设置写使能锁存器(允许写操作)
WRDI	00000100	复位写使能锁存器(禁止写操作)
RDSR	00000101	读状态寄存器
WRSR	00000001	写状态寄存器(块锁定位)
READ	0000A011	从所选地址的存储器阵列开始读出数据
WRITE	0000A010	把数据写入所选的存储器阵列(1—4 字节)

表 4.1 X5045 命令集

串行输入线 (51) 上输入的数据在 SCK 的上升沿被锁存, 数据在 SCK 的下降沿输出到串行输出线 (50) 上。AT89C51 与 X5045 的接口软件包括设置写使能锁存器子程序 (COMMSUB), 读状态寄存器子程序 X_RDSR, 字节读子程序 X_RD BYTE, 字节写子程序 X_WR BYTE, 复位看门狗子程序 WATCHDOG。对设置写使能锁存器子程序、复位写使能锁存器子程序、写状态寄存器子程序来说, 可以通过给数据缓冲区写入不同的命令字调用同一子程序, 根据 X5045 的读写操作时序编写的在电能表主程序中调用的子程序。

COMMSUB: CLR P17 ; P17 接 X5045 的串行时钟引脚 SCK
 CLR P13 ; P13 接 X5045 的片选引脚


```

MOV      A, R1      ; R1 用于存放命令字
CALL     OUTDATA
CLR      P17
SETB     P13
RET

X_RDSR:  CLR      P17      ; P17 接 X5045 的串行时钟引脚 SCK
          CLR      P13      ; P13 接 X5045 的片选引脚
          MOV      A, R1      ; R1 用于存放命令字
          CALL     OUTDATA
          CALL     INDATA
          CLR      P17
          SETB     P13
          RET

X_WRBYTE: CLR      P17
          CLR      P13
          MOV      A, R1
          MOV      B, R2
          MOV      C, B.0
          MOV      ACC.3, C
          CALL     OUTDATA    ; 发送写指令
          CALL     A, R3      ; R3 用于存放地址的低位字节
          CALL     OUTDATA    ; 发送地址
          MOV      A, R2
          CALL     OUTDATA
          CLR      P17
          SETB     P13
          RET

X_RDSR:  CLR      P17      ; P17 接 X5045 的串行时钟引脚 SCK
          CLR      P13      ; P13 接 X5045 的片选引脚

```

	MOV	A, R1	; R1 用于存放命令字
	MOV	B, R2	; R2 用于存放地址的高位字节
	MOV	C, B.0	
	MOV	ACC.3, C	
	CALL	OUTDATA	
	CALL	A, R3	
	CALL	OUTDATA	
	MOV	A, R2	
	CALL	INDATA	
	CLR	P17	
	SETB	P13	
	RET		
OUTDATA:	MOV	R4, #08H	
OUT1:	CLR	P17	
	RLC	A	
	MOV	P16, C	; P16 接 X5045 的串行输入引
脚			
	SETB	P17	
	DJNZ	R4, OUT1	
	CLR	P16	
	RET		
INDATA:	MOV	R4, #08H	
OUT2:	SETB	P17	
	CLR	P17	
	MOV	C, P15	; P15 接 X5045 的串行输出引
脚			
	RLC	A	
	DJNZ	R4, OUT2	
	CLR	P16	

```
                                RET
WATCHDOG:                      CLR      P13
                                SETB     P13
                                RET
```

4.1.4 矩阵键盘键功能处理程序

电能表的键盘处理程序采用编程扫描工作方式进行处理。在主程序中每循环一次主程序就判断一次“是否有按键按下”的事件。当查询有键被按下时，程序按以下方法进行处理：软件延时一段时间再判断键盘状态，如果仍为有键按下状态，则认为有一个确认的键按下，否则按键抖动处理；在确认有键按下的条件下，通过扫描的方式求取键值；键闭合一次仅进行一次键功能操作。对于需要多个组合键才能完成的功能来说，把多次所得的键值相加后送寄存器 A，然后完成相应功能。

键扫描程序流程图如图 4.9。键扫描程序流程图中的 12ms 软件延时用来消除键抖动现象的。当有多个键被依次按下时，把每次按下的键值存于缓冲区中，当没有键按下时再把键值总和送寄存器 A 中，根据 A 中的键值和执行相应功能。

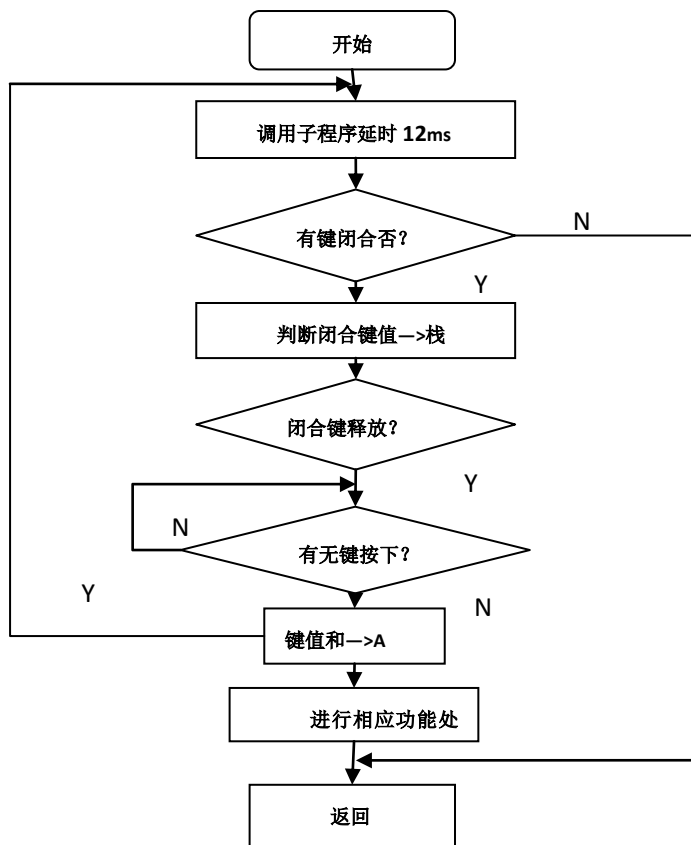


图 4.2 键扫描程序流程图

4.1.5 液晶显示器 SMS0601 在电能表中显示功能实现

液晶显示器 SMS0601 的程序由生产公司随带产品提供,只需用户根据需要填写用户程序。在电能表部分需要显示的内容包括时间、电量、单位为伏特的电压、单位为安培的电流。在程序设计过程中在主程序中根据需要显示二进制数字查表得到相应的十进制数字的显示代码,然后把相应的显示代码送显示器缓冲区,最后调用显示程序显示电量或时间。在程序设计中显示器缓冲区被定义在从单片机片内的数据存储器空间的 50H—56H 单元。对于两个时间间隔符的显示,在主程序中只需给 50H 单元送数#01H 或#02H 即可实现。给出显示码的查表子程序:

; 入口条件: 待查找的内容在 A 中, 表格的首地址在 DPTR 中, 两者的值根据主程序确定

```

FDS:      PUSH      DPH
          PUSH      DPL
          MVOC      A, @A+DPTR
  
```

```

                POP        DPL
                POP        DPH
                RET
TAB1:          DB          0EEH, 028H, 0CDH, 6DH, 2BH
                DB          67H, 0E3H, 2CH, 0EFH, 06FH
; 第 1、2、3、5、6 个 LED 的代码以及第 4 个 LED 在作为时间显示是的代码表
TAB2:          DB          0FEH, 038H, 0DDH, 7DH, 3BH
                DB          77H, 0F3H, 3CH, 0FFH, 07FH
; 第 4 个 LED 在用作电量显示是的代码表

```

4.1.6 打印机驱动程序

打印机接口的时序图表明了 8 位并行数据在数据选通信号的上升沿被打印机读入机内锁存，数据选通信号的宽度必须大于 $0.5\mu s$ 。打印机“忙”状态信号 BUSY 高电平有效，高电平状态表明打印机正忙于处理数据，此时，单片机 AT89C51 不得使用数据选通信号向打印机送入新的数据。当打印机的应答信号低电平有效时，表明打印机已取走数据线上的数据。

在打印程序中的常数、符号、标记、参数等不变的字符存放在 AT89C51 单片机的片内程序存储器中，需要打印的数据从电量存储单元取出，打印数据从日历/时钟芯片中取出。在打印机的打印控制程序中，数据的打印顺序是按照从上到下、从左到右的顺序打印字符、数据。在主程序中主要是给需要调用的子程序的缓冲空间赋值，判断打印条件是否满足，从电量存储空间读取电量值和其他数据。主程序需要调用的子程序包括打印机查询、送数子程序 PRSUB1，打印字符串子程序 PRSUB2。这两个子程序的编制如下：

```

PRSUB1:        MOVX        A, @DPTR          ; 查询打印机是否处于忙状态
                JB          ACC. 7, PRSUB1
                MOV         A, R1             ; R1 在主程序中被赋予打印指令
代码
                MOVX        @DPTR, A          ; 送打印机命令、数据后启动
                RET

```

PRSUB2:	MOVX	A, @DPTR	; 片外读取, 产生RD信号
	JB	ACC. 7, PRSUB2	; 查询打印机是否处于忙状态
LP:	MOV	A, R4	; R4 存放字符串的表首偏移量
	MOVC	A, @A+PC	; 查表取打印数据
	MOVX	@DPTR	; 数据送打印机
LP1:	MOVX	A, @DPTR	; 查询数据是否打印完
	JB	ACC. 7, LP1	
	INC	R4	
	MOV	A, R4	; 打完, 指向下一数据
	XRL	A, R3	; R3 存放字符串表尾偏移量加 1
的数据			
	JNZ	LP	
	RET		

5. 总结

经过不断地努力，坚持不懈的调试，查找并解决设计中出现的问题，系统最终达到了基本的要求，能够实现对电能、电压有效值、电流有效值、及功率的测量，遗憾的是由于时间紧迫，后续的 PC 的通讯功能模块虽然硬件与软件设计准备工作已经做好也未能调试。串口通讯方面，传输距离增大，RS-232C 就不能满足需求，可在后续的设计当中更换为 RS-485，予以替代。系统参数自校正模块，校正时手动校正较麻烦，并且精度有限，可以通过编写系统参数自动校正程序，当系统打到系统参数自校正模式时，系统自动完成校正。而且设计的误差和精度方面受到各方面因素影响较大，系统的稳定性较差，有待于进一步的改进，还有很大的提升空间。

6. 经济分析报告

智能电表能带给环境众多潜在利益。通过先进的控制及规划合理的智能电网，电力部门可直接与资源用户通信，从而实现两大关键功能：降低峰值负荷与分布式发电。这些功能有助于降低能耗，尤其是在紧要关头。他们还有助于整合各种不同的再生能源，例如太阳能电池板、风车等。此外，从早期的实践数据表明，智能电网的运转是成功的。这些好处也推动了智能电表领域投资的大幅上升，以期进一步降低能耗。然而，一个显而易见的问题是：如果缺少一个关键角色的参与，规划再好的智能电网也不会为改善环境作出贡献

对有的人来说，智能电网只不过意味着房屋中的新电表、气表和水表；对有的人来说，智能电网就是在建筑外安装的有害高频辐射源。而对于有些人，智能电网是一种将所有耗电对象连接在一起的新网络。

很多人认为，如果托马斯·爱迪生现在重返人间，也能轻易认出古老的电网。经过 75 年的微利运营之后，电力公司几乎没有任何积极性来升级现有的基础架构。不仅如此，消费者也已经习惯于毫无概念地消费资源，然后在月底或更长的时间后支付电费账单。

实际上，智能电网是一种新网络。作为一种新网络，它完全覆盖现有的电力基础设施。分别在发电、配送和消耗环节测量能源，然后在网络上传输这些测量结果。电力公司和消费者之间的这种通信允许快速、智能地针对电网状况制定决策。与智能手机加速我们获取信息的渠道相同，智能电网允许我们及电力公司更快地访问能源信息。如果能够测量每台关键设备的能耗，并反馈到电力公司管理的、采用最新技术的计算机终端，随后在将信息供给消费者查询，这将是一种什么样的情形！毫无疑问，这种认知能够让我们及时判断浪费能源设备以及节省能源、保护环境的机会。

智能电表(确切的说是仪表)记录家庭或商业消耗的电能，并以 15 分钟的间隔将这些数据送至电力公司。这项任务，称为“能源计量”，发生在仪表内部。能源计量需要非常精确、可靠，以便电力公司准确了解耗电量，并且不会从消费者那里多收费。大多数现代计量都由半导体器件完成。Maxim 的 71M6541D 就是一种这样的器件，能够精确计量典型家用电表的电量。

将数据传回电力公司的过程也由集成电路完成。这些器件要么将电力线作为通信线，要么采用无线通信方式。电力线通信(PLC)的优点是射频辐射小，适合射频难以穿透的环境，例如地下室。Maxim 的 MAX2991 和 MAX2992 组成的完整芯片组能够支持电表到电力公司的可靠通信。

智能电表不仅限于电表，还要进入家庭和商业建筑。当配备了测量装置(有时还包括通信装置)后，数据中心、工厂和电器全部实现“智能化”。测量能耗并将这些信息送回电力公司或家域网的过程称为能源计量。再生能源也依赖于能源计量。计量建筑物太阳能板产生的电能就是一个常见的实例。有效的能源计量必须精确而可靠。Maxim 的 78M6612 为各种应

用提供高精度能源计量。从电力公司的角度讲，智能电表(智能电网的一部分)提供了降低峰值负荷的机会。管理高峰期的能耗对电力公司来说是一项艰难挑战。

7. 致谢辞

转眼一个多月的毕业设计即将过去，在这一个多月的时间里我积极收集资料，认真消化、吸收，并积极向老师和同学请教，学到了很多东西，现在毕业设计已基本完成，在论文即将付梓之际，我首先要感谢我的指导老师吴老师以及邵老师，他们严谨求实的态度，一丝不苟、认真负责的工作作风都深深地感染和激励着我。从单片机电能表的设计的前期的选题制定、中期的资料提供与思路指引、后期的修正，吴老师和邵老师都始终给予我细心的指导为我指点迷津，并且在论文的撰写过程中提出了许多宝贵的建议。这几年来老师们在各方面都给与我极大的帮助，学生也借此机会向吴老师和邵老师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。同时也感谢学校为我提供良好的做毕业设计的环境。最后再一次感谢所有在毕业设计中曾经帮助过我的良师益友和同学，祝老师们身体健康!以及在设计中被我引用或参考的论著的作者

附录 A 参考文献

1. 《单片机应用开发实用子程序》 边春远、王志强, 人民邮电出版社
2. 《单片机原理及应用》 孙涵芳、许爱钦, 北京航空航天大学出版社
3. 《单片机原理及应用系统设计》 胡学海, 电子工业出版社
4. 《单片机原理及应用技术》 朱勇清华大学出版社
5. 《单片机原理及应用实验指导书》 王义军, 中国电力出版社
6. 《单片微机原理及应用》 丁元杰, 机械工业出版社
7. 张羽等. 单片机原理及应用 机械工业出版社 2007
8. 楼然苗. 单片机课程设计指导 电子工业出版社 2007
9. 潘永雄. 新编单片机原理与应用[M]. 西安电子科技大学社 2003
10. 李莉等. C 语言程序设计教程 科学出版社 2007
- 11 北 高 智 电 子 有 限 公 司 . 单相双向功率/电能 IC .CS5460A
- 12 邓文, 赵伟等. 电能自动抄表技术及相关思考. 电测与仪表
[J]. 2001. (1):5~8 . 50
- 13 赵伟, 庞海波等. 电能表技术的发展历程. 电测与仪表
[J]. 1999. (6):4~7. 55
- 14 杨恢先, 黄辉先. 单片机原理及应用. 第一版. 国防科技大学出版社,
2003
- 15 李朝青. 单片机原理及接口技术. 第二版. 北京航空航天大学出版社, 1996
- 16 阎石. 数字电子技术基础. 第二版. 高等教育出版社, 1998
- 17 孙传友. 测控电路与装置[M]. 北京: 北航出版社, 2003
- 18 来清民. 传感器与单片机接口及实例[M]. 北京: 航空航天大学出版
社, 2007
- 19 《新概念 51 单片机 C 语言教程. 入门、提高、开发》
- 20 王化祥 张淑英 传感器原理及应用[M] 天津: 天津大学出版社 1999。
- 21 梁中明. 基于DS18B20与虚拟I²C总线的数字温度测量装置设计[J]. 湖
北电子报, 2006
- 22 张世英, 刘万莹, 李仁兵. 基于AT89S52单片机的温湿度监控系统设计[A].
中南六省(区)自动化学会第24届学术年会会议论文集[C], 2006

附录 B 程序清单

CS5460A 的命令字写入子程序、读寄存器子程序、写寄存器子程序如下：

```
SDI          EQU      P10
SDO          EQU      P11
SCLK         EQU      P12
; 命令字写入程序
WR_COM:      MOV      A, R1      ; 在主程序中将命令字送到 R1 中
              MOV      R7, #8H   ; 将命令字传送的位数 8 送 R7
COMWORDSEND: RLC      A
MOV          SDI, C
              SETB     SCLK
              CLR      SCLK      ; 在此形成一个脉冲下降沿, 数据写入
              DJNZ     R7, COMWORDSND ; 判断 8 个数据位是否传送完
WR_COM_END:   RET
; 数据写入子程序, 将写入数据的高、中、低字节存放到 42H、41H、40H 中
WR_DATA:      LCALL     WR_COM   ; 调用命令字写入子程序
              MOV      R2, #42H
              MOV      R3, #03H
WR_LP2:       MOV      R7, #08H
              MOV      A, @R2
WR_LP1:       RLC      A
              MOV      SDI, C
              SETB     SCLK
              CLR      SCLK
              DJNE     R7, WR_LP1
              DEC      R3
              DJNE     R2, WR_LP2
              RET
; 数据读取子程序, 将读出的数据的高、中、低字节存放到 42H、41H、40H 中
RD_DATA:      LCALL     WR_COM
              MOV      R2, #42H
              MOV      R3, #03H
RD_LP2:       MOV      R7, #08H
              MOV      R0, #0FEH
RD_LP1:       CLR      SCLK
MOV          C, SDO
              RLC      A
              MOV      R1, A
              MOV      A, R0
              RLC      A
              MOV      R0, A
              MOV      SDI, C
```

STEB	SCLK
MOV	A, R1
DJNE	R4, RD_LP1
MOV	@R2, A
DEC	R2
DJNE	R3, RD_LP2
RET	

X5045 的读写操作时序编写的在电能表主程序中调用的子程序。

```
COMMSUB:          CLR      P17          ; P17 接 X5045 的串行时钟引脚 SCK
CLR      P13      ; P13 接 X5045 的片选引脚
MOV      A, R1    ; R1 用于存放命令字
CALL     OUTDATA
CLR      P17
SETB     P13
RET

X_RDSDR:          CLR      P17          ; P17 接 X5045 的串行时钟引脚 SCK
CLR      P13      ; P13 接 X5045 的片选引脚
MOV      A, R1    ; R1 用于存放命令字
CALL     OUTDATA
CALL     INDATA
CLR      P17
SETB     P13
RET

X_WRBYTE:         CLR      P17
CLR      P13
MOV      A, R1

MOV      B, R2
MOV      C, B.0
MOV      ACC.3, C
CALL     OUTDATA    ; 发送写指令
CALL     A, R3      ; R3 用于存放地址的低位字节
CALL     OUTDATA    ; 发送地址
MOV      A, R2
CALL     OUTDATA
CLR      P17
SETB     P13
RET

X_RDSDR:          CLR      P17          ; P17 接 X5045 的串行时钟引脚 SCK
CLR      P13      ; P13 接 X5045 的片选引脚
MOV      A, R1    ; R1 用于存放命令字
MOV      B, R2    ; R2 用于存放地址的高位字节
MOV      C, B.0
MOV      ACC.3, C
CALL     OUTDATA
CALL     A, R3
CALL     OUTDATA
MOV      A, R2
CALL     INDATA
CLR      P17
SETB     P13
RET
```

```
OUTDATA:          MOV      R4, #08H
OUT1:              CLR      P17
RLC      A
MOV      P16, C      ; P16 接 X5045 的串行输入引脚
SETB     P17
DJNZ     R4, OUT1
CLR      P16
RET
INDATA:           MOV      R4, #08H
OUT2:            SETB     P17
CLR      P17
MOV      C, P15      ; P15 接 X5045 的串行输出引脚
RLC      A
DJNZ     R4, OUT2
CLR      P16
RET
WATCHDOG:        CLR      P13
SETB     P13
RET
```

液晶显示器 SMS0601 在电能表中显示功能实现

```
FDS:      PUSH      DPH
          PUSH      DPL
          MVOC      A, @A+DPTR
          POP       DPL
          POP       DPH
          RET

TAB1:     DB        0EEH, 028H, 0CDH, 6DH, 2BH
          DB        67H, 0E3H, 2CH, 0EFH, 06FH
; 第 1、2、3、5、6 个 LED 的代码以及第 4 个 LED 在作为时间显示是的代码表
TAB2:     DB        0FEH, 038H, 0DDH, 7DH, 3BH
          DB        77H, 0F3H, 3CH, 0FFH, 07FH
; 第 4 个 LED 在用作电量显示是的代码表
```

打印机驱动程序

```
PRSUB1:   MOVX      A, @DPTR      ; 查询打印机是否处于忙状态
          JB        ACC.7, PRSUB1
          MOV       A, R1         ; R1 在主程序中被赋予打印指令代码
          MOVX      @DPTR, A      ; 送打印机命令、数据后启动
          RET

PRSUB2:   MOVX      A, @DPTR      ; 片外读取, 产生 RD(____)信号
          JB        ACC.7, PRSUB2 ; 查询打印机是否处于忙状态
LP:       MOV       A, R4         ; R4 存放字符串的表首偏移量
          MOVC      A, @A+PC      ; 查表取打印数据
          MOVX      @DPTR        ; 数据送打印机
LP1:     MOVX      A, @DPTR      ; 查询数据是否打印完
          JB        ACC.7, LP1
          INC       R4
          MOV       A, R4         ; 打完, 指向下一数据
          XRL       A, R3         ; R3 存放字符串表尾偏移量加 1 的数据
          JNZ       LP
          RET
```