

陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业设计（论文）

中文题目：_____ 基于 SOPC 智能电表的设计 _____

英文题目： *BASED ON THE SOPC DESIGN OF SMART METERS*

院 系： _____ 景德镇陶瓷学院科技艺术学院 _____

专 业： _____ 10 自动化 _____

姓 名： _____ 胡增武 _____

学 号： _____ 201030455114 _____

指导教师： _____ 朱永红 _____

完成时间： _____ 2014-05-15 _____

摘 要

随着我国经济的飞速发展，电能消耗量日益增加，电能已成为现代社会国民经济稳定增长和人民生活水平提高的重要保障。为了对电能精确的计算以及智能化管理，就要求高性能计量芯片在电力自动化系统中的应用。本文介绍基于SOPC的Nios II软核为控制核心，采用专用电能计量芯片AD7755来实现单相智能电能表的设计，设计了相应的硬件电路图：电源模块、显示模块、信号调理模块和IC卡读写模块；软件流程框图，包括功能流图、系统参数校正流图、测量流图和电能表鉴证流图。该系统具有高精度的计量、LCD显示、强大的存储能力、实时报警、成本低廉等特点。

关键词：SOPC AD7755芯片 Nios II软核

ABSTRACT

As along with the rapid development of economy in our country, the growing electricity consumption, electricity has become a modern social stable growth of national economy and people's living standards improve. Electricity in order to precise calculation and intelligent management, requires high performance measurement chip application in electric power automation system. , in this paper based on the SOPC soft core of Nios II as the control core, using special power measurement chip AD7755 to implement intelligent single-phase watt-hour meter design, design the corresponding hardware circuit diagram, power supply module, display module, signal conditioning module and IC card read/write module; Software flow diagram, including the function flow chart, flow diagram, measurement system parameters calibration flow chart and watt-hour meter verification flow diagram. The system has a high precision measurement, LCD display, powerful storage capacity and real-time alarm, low cost, etc.

KEYWORDS: AD7755 chips Soft core Nios II the SOPC

目 录

1 绪论	1
1.1 智能电表简介	1
1.2 国内外电能表的发展	1
1.3 课题研究的意义	2
1.4 本论文研究的主要内容和预期目标	2
2 智能电表的总体概述	4
2.1 电能测量方法	4
2.2 电子式电能表的测量原理	5
2.3 电能测量的方案选择	7
2.3.1 离散采样电量测量的原理	7
2.3.2 采用电能计量芯片的电子式电能表原理	7
2.3.3 AD7755 简介	8
2.3.4 $\Delta-\Sigma$ 调制 A/D 转换技术	9
2.3.5 CPU 的选择	9
3 智能电表的硬件设计	10
3.1 系统的基本方案	10
3.2 Nios II 硬件部分的设计过程	10
3.3 AD7755 的测量模块	13
3.4 电源模块	13
3.5 信号调理模块的设计	14
3.5.1 电压调理部分	14
3.5.2 电流调理部分	14
3.6 EEPROM 存储器模块	15
3.6.1 AT24C02 简介	15
3.7 显示模块	16
3.8 IC 卡模块	17
3.8.1 Mifare 1 非接触式 IC 卡	17
3.8.2 H6152 读写模块	18
3.8.3 IC 卡读写电路的原理及说明	18
4 智能电表的软件设计	21
4.1 主流程图	21
4.2 系统子程序模块	22
4.2.1 系统参数自校正模块	22
4.2.2 电量测量功能模块	23

4.2.3 电能检定功能模块.....	23
5 实验调试与总结	25
5.1 实验验证与结论.....	25
5.2 电能表硬件调试.....	25
5.3 电能表软件调试.....	25
5.4 电能表软硬件联调.....	25
5.5 实验结论.....	25
5.6 小结	26
6 总结与展望	27
7 经济分析报告	29
7.1 目标成本	29
7.2 初步计算成本	29
7.3 经济分析及市场前景预算	30
致 谢	31
参考文献	32
附录	34

1 绪论

1.1 智能电表简介

现在的智能化电表，已经远远超出传统定义的电能表的范围，除了具备传统电能表对用电量的计量功能以外，为了适应新型电网和新能源的开发和以及用，它具有智能仪器一般具都有的自动测量功能，强大而快速的分析处理能力，可以进行自动调零，进行简单的故障提示功能，键盘操作和智能显示，简单的报警功能。智能电表是今后节能型智能电网及用户的发展趋势，取代传统的电能表可以说是大势所趋。随着智能电网的不断发展，世界各国对于智能化用户终端（即智能电表）的需求也将会越来越大，从相关数据统计，在今后的5年，随着世界各国对智能电网的投入的加大，全球范围内智能电表的安装量将高达2亿只。与此同时，在中国，随着国家对智能电网建设大力支持，智能电表的需求量也会大幅度地增加，如果保守的估计，市场将会有1.7亿只左右的需求量。

1.2 国内外电能表的发展

电能表经过多个发展历程，在第一阶段（即电力工业发展初期）电能的测量用的是电解化学原理电能表，也就是我们称作的感应式电磁原理电能表。后来随着工业革命的发展，虽然感应式电能表在功能和性能在很多方面有了提升，但是仍然满足不了电力工业的发展要求。大概在20世纪中后期，伴随微电子信息产业和计算机技术的发展，新技术的开拓为电能表的革新奠定了坚实的基础，有着高精度、智能化的电子式电能表在这个时候诞生了并且很好的满足了电力工业发展的要求，这是电能表应用的第二阶段。第三阶段，大概在本世纪初期，电力技术革新浪潮遍及世界各地，各国电力公司也都把眼光投向了表计，认为它将会成为电力市场的核心。特别是各类用户和供应商都希望有智能功能电表的出现。电子式电表20世纪70年代才在我国使用，起初都是从国外采购的，到80~90年代国内已经能够自主生产0.05%级电子式电能表。经过几代人的付出和努力，现在我国电能表技术在大部分领域已经达到了国外同类产品的先进水平。

在市场经济的环境下，各类用户对电能表的准确度以及电能管理智能化的要求越

来越高，这些都是传统感应式电能表所做不到的。近几年，由于电子技术的革新和微电子技术的发展，精准度高、功能多样化、使用时间长并且能够完成远程抄表的电子式电度表的出现，为电度表技术的革新创造了条件。

1.3 课题研究的意义

随着国家智能电网的进一步建设，市场要求的不断提高，新兴的智能电表已成为当今市场重要的需求品之一。本课题就是通过分析开关电源、电力电子技术的发展结合现在的技术等完成一款智能电表的设计与实现。对于促进智能电网的发展，提高居民用户的用电质量，实现在用电方面智能化、自动化，提高用电效率节约能源有重要意义。智能电表其实是为实现国家智能电网而推荐出的计量设备，是该系统建设的重要环节。所说的智能电网，就是电网的智能化，被称为“电网2.0”。它建立在集成、高速双向通信网路的基础上。通过先进的传感和测量等技术设备，实现电网安全可靠和经济高效的目标，具有信息化、数字化、自动化和互动化等主要特点。“用电信息采集系统”的建设，是实现电能信息全采集、全覆盖、全额付费的基础，是建设智能电网的重要组成部分，杜绝了原来人工抄录出现的用电误差、误抄、漏抄和抄表不及时等其他问题。这种新型智能电表使电力用户不用再跑到屋外找电表查询电量，可以直接通过电表上的液晶显示屏查询电费、告警、历史用电、实时电价及供电曲线等信息，了解自家在不同时间的用电情况，在用电波峰的时候关闭某些电器，根据自己的需求，制定用电计划，在精打细算中节约用电，还可以由电脑远程自动抄表，将大大的提高抄表精确性和工作效率，有效避免人工抄表的误差，并可远程分析电表数据，帮助供电企业掌握客户用电信息，第一时间获取现场故障和异常情况，方便及时抢修，减少停电时间。

1.4 本论文研究的主要内容和预期目标

第1章为绪论部分，简要的概述电能表的定义以及它的发展史；介绍了本课题研究的目的和意义。

第2章重点介绍了电能表电能测量原理和电能测量专用芯片AD7755的选择以及基于 $\Delta-\Sigma$ 技术A/D转换器的工作原理和SOPC的选择原因及简介。

第3章详细的介绍了电子式电能表硬件系统实现方案和各单元硬件模块设计。硬

件总体方案设计包括整体组成方框图；各单元硬件电路设计包括电源单元、计量单元、存储单元、显示单元及IC卡接口单元的电路设计。

第4章介绍了电能表的软件实现方案。软件设计采用模块化设计方案，实现了电量的分时计量、键盘显示、异常检测及记录、RS485通讯、红外通讯、停电抄表、红外唤醒等功能。

第5章是对整个设计的调试和总结。

期望达到的指标和参数为：

1. 单相电能的检测；
2. 电压测量范围为 $220V \pm 20\%$ ，电流测量为范围 $0 \sim 20A$ ；
3. 电压电流通过互感器隔离；
4. 数据测量精度 $\leq 1\%$ ；

2 智能电表的总体概述

2.1 电能测量方法

电能的测量和计算的对象主要包括对有功功率、无功功率、视在功率等几个电变量，对于一般的家庭用户而言，主要以单相有功电能的计量为主。数字式的专用电能计量芯片是先把经传感器采样过来的模拟量经ADC转换成数字量，再经过数字处理单元对数字化的被测量进行处理和运算，以此来实现电能的测量和计算。电能测量的内容包括有功功率和无功功率，有功功率的测量可简单地叙述如下：

设在 t 时刻负载两端电压和电流的表达式为：

$$U(t) = u_m \sin \omega t = 2 \sin \omega t \quad (2.1)$$

$$I(t) = i_m \sin(\omega t - \varphi) = 2i \sin(\omega t - \varphi) \quad (2.2)$$

其中 $u(t)$ 为 t 时刻电压瞬时值； $i(t)$ 为 t 时刻电流瞬时值； u_m 为电压峰值； I_m 为电流峰值； U 为电压有效值； I 为电流有效值； ϕ 为电压与电流相位差； ω 为角频率。

则在一个周期内平均有功功率 P 为

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T u_m \sin(\omega t) i_m \sin(\omega t - \varphi) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T UI [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)] dt \\ &= UI \cos \varphi \end{aligned} \quad (2.3)$$

一个周期内的电能 W 为

$$W = \int_0^T u(t)i(t)dt = TUI \cos \varphi \quad (2.4)$$

各种乘法结构的电能测量单元都是以式（2.4）为理论基础的。在实际情况当中用户负荷是处在一种动态的变化状态中，因为无法快速而准确地测得每个周期电压的有效值、电流有效值，以及电压向量与电流向量之间的相位差，因此也无法直接按式

(2.4) 来计算电能，它也只是一种理论形式。电能的测量方式主要有电解式、感应式、电子式这么几种。目前在实际应用中最常用的是感应式和电子式两种。下面就工作原理进行对比介绍，并介绍基于 $\Delta - \Sigma \Delta$ A/D 转换器的数字乘法器的工作原理。

2.2 电子式电能表的测量原理

在电子式电能表中起主要作用的是电能测量单元，其作用是将经传感器采样来的模拟电压和电流信号变换成与功率成一定比例关系的脉冲信号，再进行分频和计数。可以说它是电子式电能表的关键所在，其测量精度直接决定了电能表的精确度和准确度。电子式电能表的电能测量单元种类很多，但是不论哪种乘法器都是该单元的核心组成部分。乘法器的类型决定了电子式电能表电能测量单元的内部结构。由此大体可分为以模拟乘法器为核心的和以数字乘法器为核心的两大类。数字乘法器以微处理器为核心的高精度模数转换型为代表。早期的电子式电能表则主要是以时分割型为主，而现在的电子式电能表已经以数字乘法器为主。下面简单的介绍一下数字乘法器的工作原理。数字乘法器型电子式电能表的核心部件是微处理器，将经过电压/电流调理电路的被测电压和电流信号由 A/D 转换器把模拟量转化成数字量从而完成数字化处理，然后微处理器对数字量进行处理，以此来实现各种功能。

利用作图法可求得一个周期内各采样点的功率 $P(tk)$ ，为

$$P(tk) = U_{A(tk)} i_{A(tk)} \quad (2.5)$$

一个周期 T 内平均功率 P 为

$$\begin{aligned} P &= [u_A(t_1) + \cdots + u_A(t_k) i_A(t_k)] + \cdots + u_A(t_n) i_A(t_n)] \frac{1}{n} \\ &= \sum_{k=1}^n \frac{1}{n} u_A(t_k) i_A(t_k) \end{aligned} \quad (2.6)$$

即各采样点功率 $P(tk)$ 为

$$P(tk) = u_{A(tk)} i_{A(tk)} \quad (2.7)$$

则一周期内平均功率 P 为

$$P = \sum_{k=1}^n \frac{1}{n} u(tk) i(tk) \quad (2.8)$$

令 $\Delta t = t_k - t_{k-1}$ ，则一个周期内的电能 W 为

$$W = \left[\sum_{k=1}^n \frac{1}{n} u(tk) i(tk) \right] \Delta t \quad (2.9)$$

若 $\Delta t \rightarrow 0$ ，则有

$$W = \int_0^T u(t) i(t) dt = TUI \cos \varphi \quad (2.10)$$

从式 (2.10) 我们可以看出：将各采样点的电流瞬时值、电压瞬时值乘积的累加和再和采样周期作乘法运算便能算出电能的平均值。但式 (2.10) 仅仅是一个数值计算公式，并没有涉及到响量的运算，这样的计算由微处理器可以很轻松的完成。显然，这种方法是通过模数转换器 (即 A/D 转换器) 把交流电压、电流模拟量转换为数字量，然后在对数字量进行处理。从实验我们可以知道，提高 A/D 转换器的精度或者增加采样的次数都可以提高电能计算的准确性。即便这样，再好的系统都会存在误差，这种测量误差来源主要有单位时间采样的次数、A/D 转换器的转换精度，调理电路及后面的放大电路造成的电压/电流幅值和相位上的漂移。对误差的补偿可通过硬件电路和软件程序两种方法来实现。数字型乘法器的实现电路可由单片机、A/D 转换器、采样保持器等部分组成。可以看出这种电路的硬件部分元器件多、体积较大、成本也不低；而其软件也较复杂，因为数据采集单元和处理单元等都是通过数字电路来实现的。由于计算机技术的发展和单片机技术的应用，使得专用电能芯片的工作相对变得简单。这种专用电能计量模块不仅集成了运算器（简单的加、减、乘、除）、频率转换电路、模数转换电路，而且还包含其他功能的电路，如相位调整电路、检测电路、基准电压电路、接口电路、扩展电路等，采用这些模块只需要辅助于少量的外围电路就能实现满足不同需要的电子式电能表。数字型乘法器的模/数变换原理也分为两类；第一类是逐次比较型，第二类则是利用 $\Delta-\Sigma$ 原理。

2.3 电能测量的方案选择

2.3.1 离散采样电量测量的原理

对于电量连续表达式我们已经很熟悉了。但是在数字测量仪表或基于微型计算机为核心的智能仪表中，就往往需要将连续模拟电量采样数字化，得到电量的离散表达式。电压和电流是测量环节中两个最基本的电量。根据电学理论，以 T 为变化周期的交流电压、交流电流信号，它们的有效值可用式 (2.11) 和式 (2.12) 表示为

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2.11)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (2.12)$$

连续的电压和电流信号经过采样、保持和 A/D 转化之后，可以转化成在时间和幅度上都是离散形式的信号，电压有效值和电流有效值的离散形式可分别用式 (2.13) 和式 (2.14) 表示

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u^2(n)} \quad (2.13)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)} \quad (2.14)$$

上式中的 N 为电压或电流信号在单位时间内的平均采样个数，根据采样定理我们知道，采样频率必须至少大于输入模拟信号频率的 2 倍，被测信号才能比较好的恢复出来。同理，可以得出功率 P 和电能 E 在模拟域和数字域中的计算方法可用下面两个式子表达来表达：

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n)i(n) \\ E &= \int_0^T u(t)i(t)dt = \sum_{n=0}^{N-1} u(n)i(n) \end{aligned} \quad (2.15)$$

2.3.2 采用电能计量芯片的电子式电能表原理

采用电能计量芯片设计的电子式电能表原理框图可参照图 2-1。它主要由信号输

入路、信号调理电路、电能计量芯片、CPU 及 LCD 显示部分和存储单元等组成。电能芯片主要完成对输入信号的 A/D 转换及电量的数据处理。采用电能计量芯片的电子式电能表，从结构上分析，和数字化采样方案相比，它删去了许多繁琐的、没必要的单元、电路结构变得很简洁。本课题设计的电子式单相测量电能表，因为其控制和显示的操作比较多，所以必须以 CPU 为中心组件。基于专用电能芯片具备高度集成性(集成了 ADC, 功率计算模块等);高精度(测量误差大多都在 0.3%以下);高性能(具有性能优越的 A/D 转换器，使转换误差很小);多功能(具有相位补偿功能，能克服自身由于互感器带来的角差等优点，并且具有片内基准电压，可省去高精度基准电源电路)及低功耗(一般为几十毫瓦)等，这些都为低成本、高精度、高可靠性、功能多样化的电能表的设计提供了有利条件。基于上述理由，采用基于电能计量芯片来设计电子式电能表的方案。目前，我们在设计电子式电能表比较常用的电能计量芯片主要有 CS5460A, AD7751 和 7755。这里我选用了 AD7755 芯片。

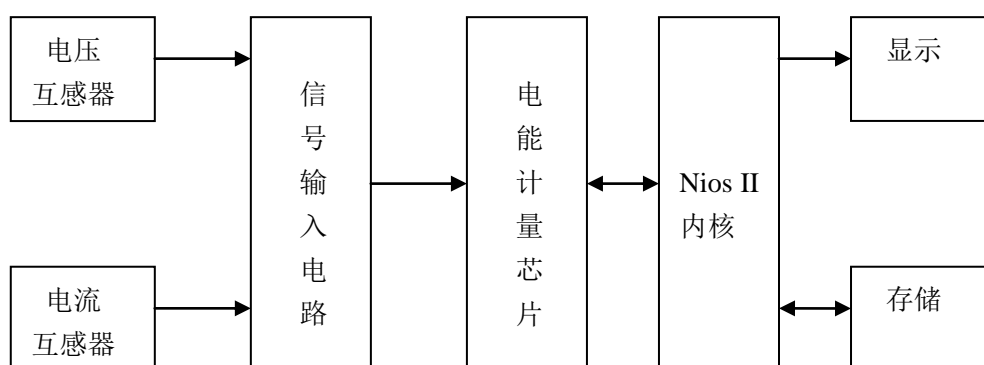


图 2-1 采用电能计量芯片的电子式电能表原理图

2.3.3 AD7755 简介

AD7755 芯片一款精确度很高、功耗低、稳定性强的专用电能测量的集成芯片。它开拓了电度表设计的新领域，为生产商提供了一种即成本低，精度又高的设计方案，为广大的制造商所亲睐。可以说是下一代民用电度表的理想解决方案。AD7755 的内部结构中集成了一个增益可选放大器（PGA）和一个增益固定放大器，两个性能相同的 16 位 $\Delta-\Sigma$ 模/数转换器(含数字滤波器)，一个数字乘法器，一个可选的高通滤波电路，一个相位调整电路。输入的交流电压和电流经过 $\Delta-\Sigma$ 模/数转换器后变为数字

信号，再进入电量计算单元对数字信号进行处理，它可以测量或计算出瞬时电压/电流、瞬时功率、电压/电流有效值、平均功率。测量结果存储于专用寄存器当中，但它并不是我们需要的电量结果，需要乘相应的系数才是最终结果。测量结果通过总线与 CPU 通信。它有 24 个引脚。它的管脚分布如图 2-2 所示

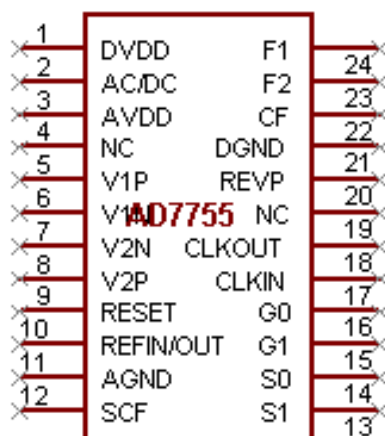


图 2-2 AD7755 的引脚图

2.3.4 $\Delta-\Sigma$ 调制 A/D 转换技术

$\Delta-\Sigma$ 调制 A/D 转换是近年来最新研制出的一种新型模数转换器。其优点是计量精度高、转换速度快、成本较低、应用方便。

$\Delta-\Sigma$ 调制 A/D 转换技术在决定 AD7755 芯片性能方面起着非常重要的作用。我们知道，数字信号处理系统在精度、抗干扰能力上有明显的优势、并且易于集成化。在传统的 A/D 转换器中，包含很多模拟电路和精密的基准电压和电阻分压器，势必导致电路的复杂。当分辨率很高时，必然会导致制造工艺遇到一定困难。而 $\Delta-\Sigma$ A/D 转换器的数字电路占整个电路一大部分，无需在工艺提供精确的组件匹配，也正是基于上述原因， $\Delta-\Sigma$ A/D 转换器比传统的 A/D 转换器具有更好的特性。

2.3.5 CPU 的选择

本设计采用的 CPU 是基于 SOPC 的 IP 内核，SOPC 的设计是以 IP 内核为基础，以硬件描述语言为主要设计手段，借助以计算机为平台的利用 Quartus II 中的 SOPC Builder 工具而进行的。它是用可编程逻辑技术把整个系统集成到一块硅片上，所以说 SOPC 是一种特殊的嵌入式系统。首先它是片上系统，即由单个芯片完成整个系统的主要逻辑功能；其次，是一个可编程的系统，如果把它和单片机相比，具有设计方式灵活多变，可进行裁减、也可进行扩充，并具在系统上进行编程的功能等多种优点。

3 智能电表的硬件设计

3.1 系统的基本方案

此电能表主要由电源模块、前端电路调理模块、SOPC IP 核、电能计量芯片模块、时钟模块、LCD 显示模块、IC 卡模块组成，其整体硬件电路图如 3.1 图所示。其中 IP 核是整个硬件电路的核心部分，控制着其他各个模块的各项工作。

此电能表预期达到以下功能：

1. 通过 SOPC 扩展的数据存储器可以将附近月份用电量存储起来以供查询，除此之外也能够存储各月峰时、平时、谷时的用电量，并能通过液晶显示器显示它们的数值。

2. 具有智能保护功能，包括过电压保护、欠费停电以及报警等功能；

其整体框图如下：

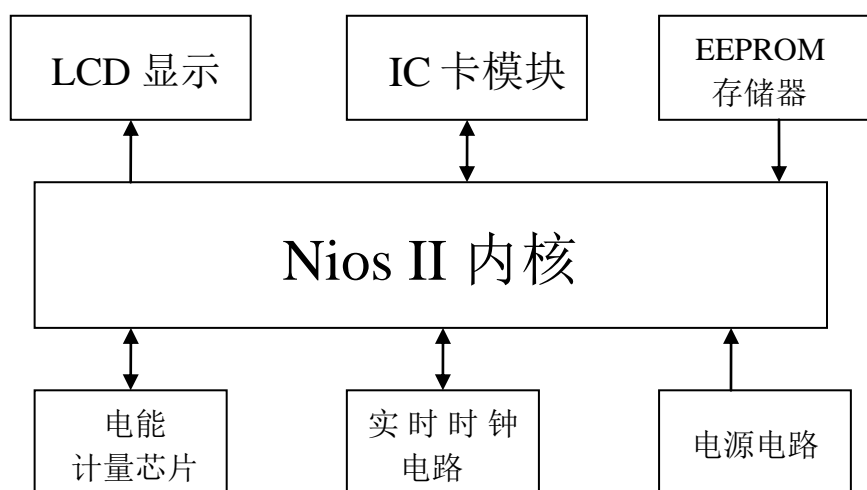


图 3-1 智能电表的硬件电路图

3.2 Nios II 硬件部分的设计过程

Nios II 内核的生成在本设计中要使用到的外设有：SDRAM、Flash、LCD、RS232 及按键等。其中 SDRAM 是用来作为系统内存，Flash 用来储存程序，LCD 用于简单的显示，使用 RS232 将更多的信息显示在电脑的超级终端上，使用 4 个按键来进行功能选择与参数设置。

我使用 Quatus II 中的 SOPC Builder 工具添加如图 3-2 所示的各模块

Use	Connectio...	Module Name	Description	Clock	Base	End	IRQ
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> cpu	Nios II Processor				
		instruction_master	Avalon Master	clk			
		data_master	Avalon Master	clk			
		jtag_debug_module	Avalon Slave				
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> jtag_uart	JTAG UART	clk			
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> RS232	UART (RS-232 Serial Port)	clk			
		ext_men_bus	Avalon-MM Tristate Bridge				
		avalon_slave	Avalon Slave	clk			
		tristate_master	Avalon Tristate Master	clk			
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> cfi_flash	Flash Memory (CFI)	clk	0xffffffff	0x00ffffff	
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> sdram	SDRAM Controller	clk	0x02000000	0x02ffffff	
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> led_pio	PIO (Parallel I/O)	clk	0x00000010	0x0000001f	
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> pio_f	PIO (Parallel I/O)	clk	0x00000040	0x0000004f	
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> pio_status	PIO (Parallel I/O)	clk	0x00000050	0x0000005f	
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> button_pio	PIO (Parallel I/O)	clk	0x00000060	0x0000006f	
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> lcd_display	Character LCD	clk	0x00000070	0x0000007f	

图 3-2 添加模块示意图

然后完成对 Nios II 系统的定制，如下图所示

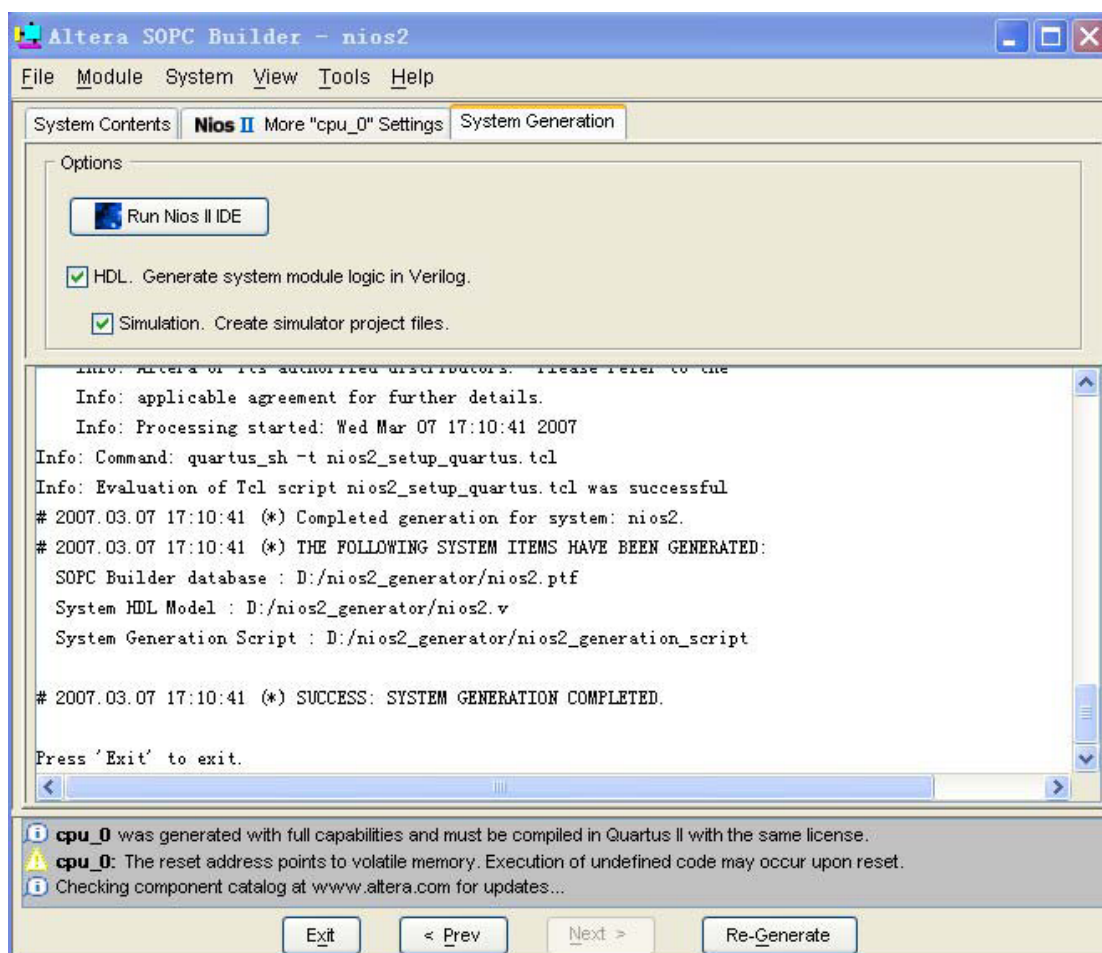


图 3-3 NiosII 系统的定制

最后点击 System Generation-Generation 从而生成 Nios II 系统，如图 3-4 所示

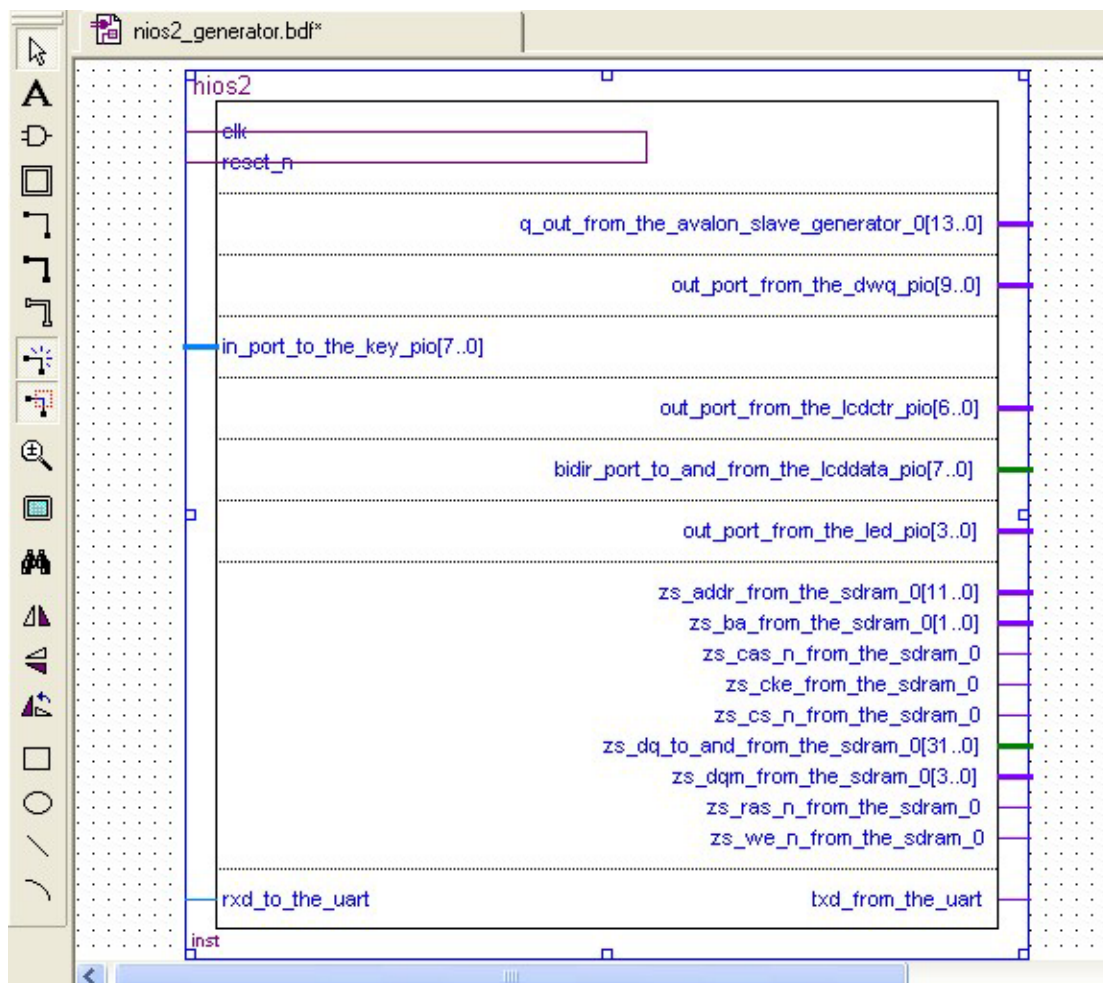


图 3-4 Nios II 系统的成功生成

Nios II 系统封装后插入 Quartus II 7.2 的 BSF(Block symbol file)文件, 由于篇幅的限制这里就不一一的介绍。最后用如下的示意图来表示该集成芯片

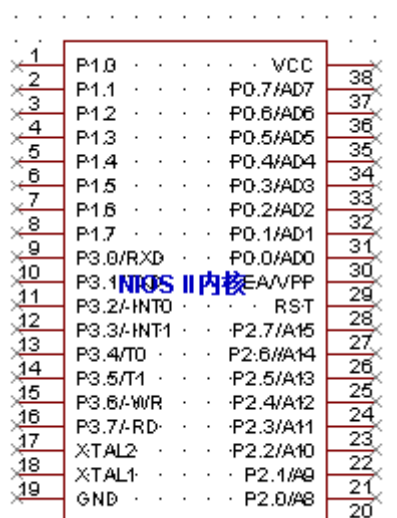


图 3-5 集成芯片

3.3 AD7755 的测量模块

测量部分的主要作用是把电能信号转换为标准脉冲信号，以AD7755为核心，把调理好的电压、电流信号送入AD7755芯片的（V1P，V1N）、（V2P，V2N）引脚，俩路信号在AD7755内完成电能的计量和累加，并完成D/F转换，从CF脚输出高频脉冲信号，经光电耦合器MOC3021隔离后输出与瞬时有功功率成正比的脉冲信号，并送入Nios II内核的P3.4脚，其电路图如下：

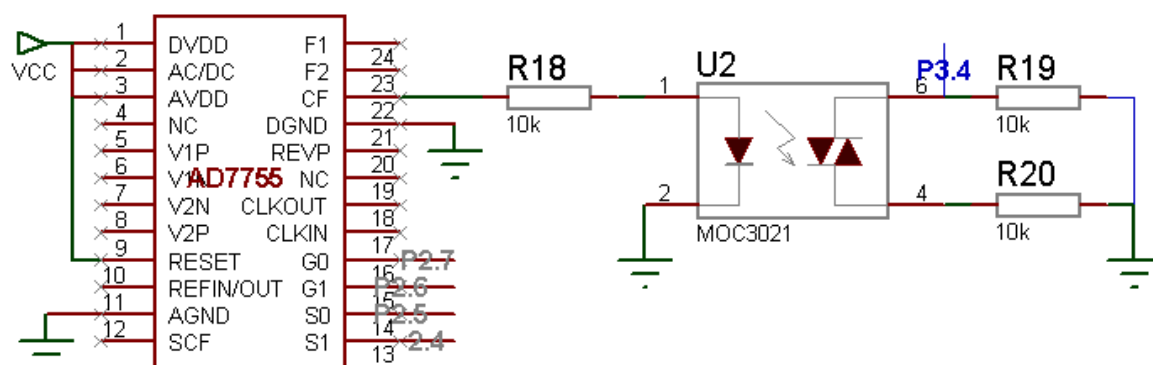


图 3-6 AD7755 与 Nios II 的接口电路

在具体的硬件电路当中，参考电压输入/输出端 (VREFIN/OUT) 通过 0.1 μ F 电容接地，模拟电源负引脚 (AGND) 也接地。这样才能使得片上 A/D 转换器的基准电压为 0V，并且使用变换器内部的基准电压，0.1 μ F 的电容起到了电源抗干扰的作用。根据单相电子式电能表在实际中的使用情况，在系统时钟输出引脚 (CLKOUT) 和系统时钟输入引脚 (CLKIN) 之间连接一个 3.58MHz 的晶振和 K=1 的分频系数为 AD7755 提供系统时钟。复位引脚 (RESET) 当为逻辑低电平时，ADC 和数字电路保持复位状态。在该引脚的下降沿，清除 ADC7755 内部寄存器。

为了确保数据计算的精确性，在处理采样来的小电压/电流信号时要用到 AD7755 的内部 50 或 10 倍增益。对于在电压/电流采集时可能会产生的相位漂移，AD7755 有一定的相位补偿功能。最后为了保证电压电流的正确性，将间期的为 AD7755 提供电压电流校准操作。

3.4 电源模块

电源质量的好坏是整个系统能否稳定工作的基础性条件，系统中的各个电路模块

的正常工作都依赖于直流电源,这里采用变压器将 220V 市电变换成低压交流电,再经过整流桥和电容滤波装置,形成不是很稳定的直流电压,再经 W7805 的稳压和电容的频率补偿,便产生了稳定性好的直流输出电压。

电源电路如图 3-7 所示:

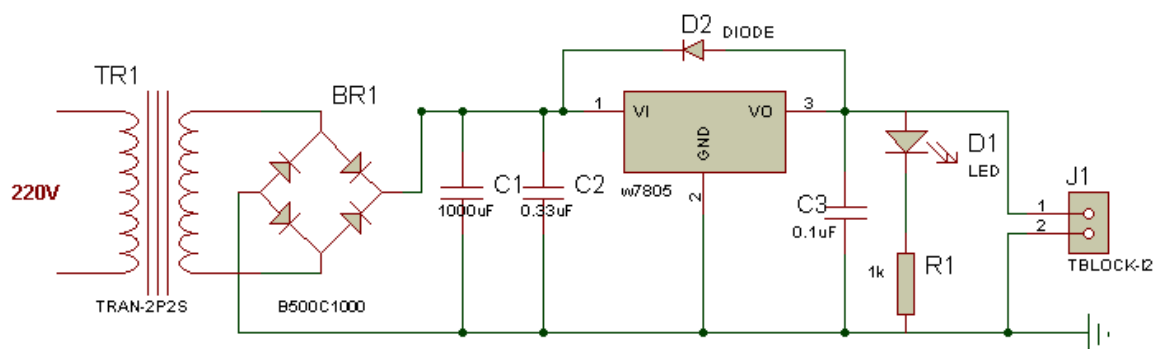


图 3-7 +5V 直流电源的设计

3.5 信号调理模块的设计

3.5.1 电压调理部分

在市电接入电能计量芯片之前要有电压调理电路,这里采用变比为 2mA/2mA 的电流互感器作为输入电路部分,电路如图 3-9 所示。220V 的市电电压输入后,首先外接 $R_x=110k$ 电阻得到 2mA 大小的电流,然后通过变比为 2mA/2mA 电流的互感器,再在二次侧连接 1 个 125Ω 的定值电阻得到 2.5V 大小电压,可以为 AD7755 提供电压信号,当然没有超出 AD7755 的测量范围。其实电阻 R_2 的大小可以根据不同的电压值来调整。并加入 RC 滤波网络对信号进行初步滤波。

3.5.2 电流调理部分

对电流信号的调理原理是和对电压信号调理的原理一样,在这里采用变比为 5A/2.5mA 的电流互感器,然后经一个阻值为 30 欧的电阻把电流信号转变成电压信号。并加入 RC 滤波网络对信号进行初步滤波,为了对芯片进行保护,我们加入放抖动电容,以免损坏芯片。经变换后的补测信号以差模电压的形式输送到 AD7755 的模拟信号输入端。由于互感器角差的影响,可能会造成输入信号的相位产生漂移,从而导致功率测量误差的增大。而 AD7755 具有一定的相位补偿功能(可进行 -2.4° 至 $+2.5^\circ$ 的相位补偿),可以在很大程度上减小由于互感器而导致电压与电流相位漂移的影响。

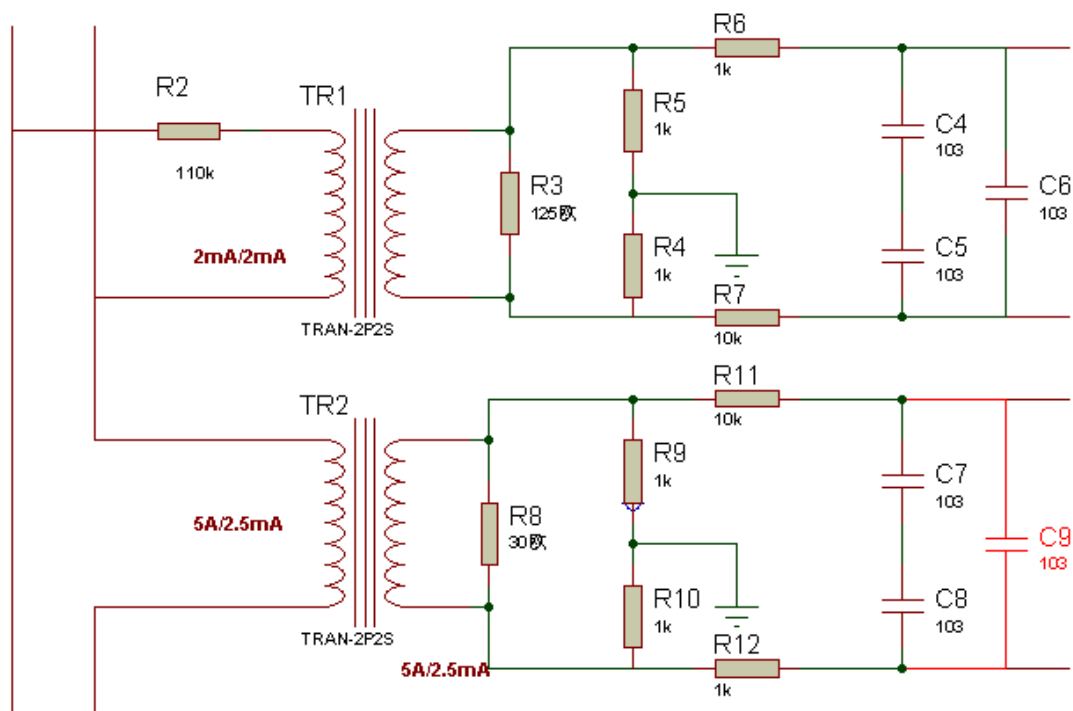


图 3-8 前端调理电路

3.6 EEPROM 存储器模块

3.6.1 AT24C02 简介

AT24C02 一款低功耗、存储空间大的 CMOS 串行 EEPROM，它内含 2048×8 位存储空间，具有工作电压宽（1.8~6V）、擦写次数多（大于 1000 000 次）、写入速度快（小于 10ms）保存数据时间长（100 年）等特点。AT24C02 中自带有片内寻址寄存器。每次写入或读出一个数据字节后，该地址寄存器都会自动加 1，以实现下一个存储单元的操作。所有字节都以单一的方式来读取。为了降低总的写入时间，一次操作可写入多达 8 字节的数据。图 3-9 为 AT24C02 的引脚图。

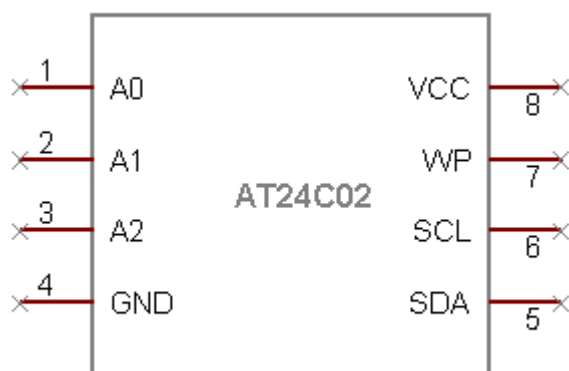


图 3-9 AT24C02 的引脚图

3.6.2 AT24C02 与 S0PC 的接口电路如下

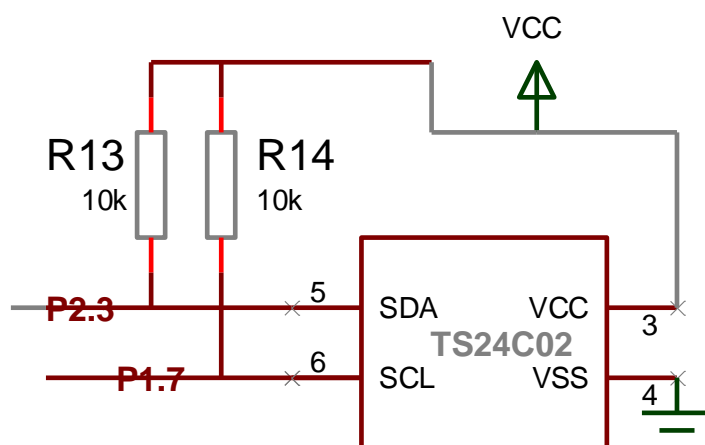


图 3-10 AT24C02 与 S0PC 的接口电路

3.7 显示模块

为了实现在多费率情况下对多项参数的显示，目前市场上大多数电度表采用的是液晶显示器（LCD）或发光二极管显示器（LED）。LCD 的优点是一屏可以显示很多的字符，并且它的工作电流小，即使在供电系统停电时也可利用电池或大容量电容器为其工作提供能量，还有就是外观比较美观。本设计中液晶显示模块选用图形液晶显示模块 GXM12864，它内含 KS0108B/HD61202 控制器，是一种采用低功耗 CMOS 技术实现的点阵图形 LCD 模块，有 8 位微处理器接口，通过内部的 128×64 位映射 DDRAM 实现 128 点 \times 64 点大小的平板显示。该液晶显示模块使用 KS0108B 作为列驱动器，同时使用 KS0107B 作为行驱动器。KS0107B 不与 CPU 发生联系，只要提供了电源就能产生行驱动信号以及其他的各种同步信号，原理和操作都比较简单。

液晶显示模块 GXM12864 的工作原理图如图 3-11 所示。

图中可变电阻 R15 的作用是调节提供给驱动器的电压值，一次来调节液晶显示的亮度。RST 是复位脚，接高电平 Vout1。数据线 DB0~DB7 和 S0PC 的 P0 口相连，控制线 D/I、R/W 和片选线 CS1、CS2 分别与 S0PC 的 P1 口 P1.4、P1.3、P1.2、P1.1 脚相连，使能线与 P1.5 相连。

在进行液晶显示模块的硬件调试时务必要注意接线的正确性，尤其要注意电源正负极的接线不能有错，否则芯片会被烧坏。为了避免液晶显示模块的损坏，在加液晶驱动电压 V0/VEE 时需要比加逻辑电压 VDD 的时间滞后 50ms；在关掉电源时，液晶驱动电压 V0/VEE 需要比逻辑电压 VDD 提前 50ms 关断。

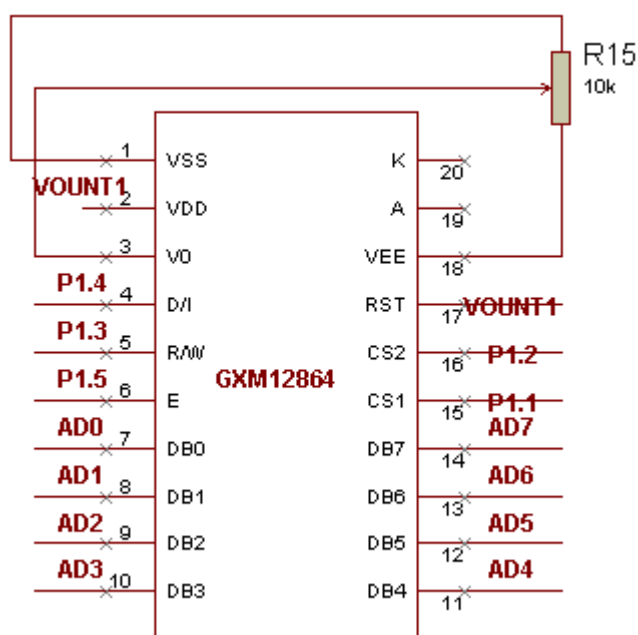


图 3-11 LCD 显示模块 GXM12864 的工作原理图

3.8 IC 卡模块

3.8.1 Mifare 1 非接触式 IC 卡

Mifare 1 射频 IC 卡的核心是 Philips 公司制造的 Mifare 1 IC S50 系列微晶片，其内部包括 8KB 高速 EEPROM、数字控制模块和一个高效率射频天线模块。卡片本身没有附带电源供本身工作，在工作时只要将卡片放在读写器的有效工作范围之内，卡片读写器会利用自带的天线发送无线电载波信号与卡片上的天线耦合，一次原理提供电源能量，其电压可达 2V 以上，足以满足卡片上的 IC 电路的供电需要。在信道保证和数据完整性方面，Mifare 1 标准还提供了信道检测、冗长存储数据的校验、三次传递认证以及防冲突机制等功能，保证了数据交换全过程的安全。Mifare 1 射频 IC 卡有数据保存时间长（10 年），可书写次数多（10 万次），数据传输速度快，读写距离长（10cm），防冲突机制、支持多卡操作等优点，但是它不自带电源。

Mifare 1 射频卡包含了两个部分：RF 射频接口电路和数字电路部分。

3.8.2 H6152 读写模块

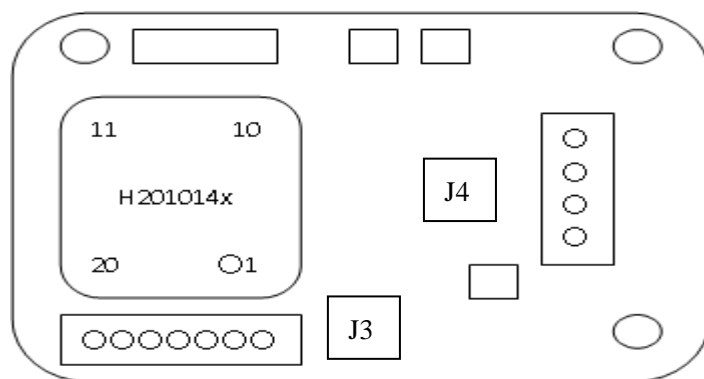


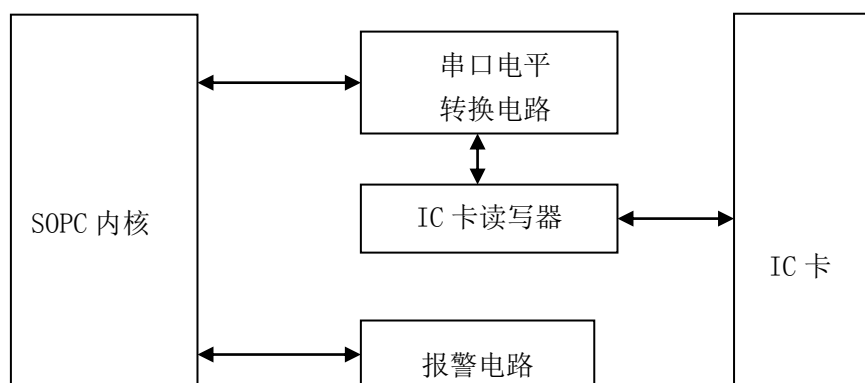
图 3-12 H6152 基本结构示意图

H6152 的基本结构如图 3-13 所示。图中，对外通信的接口为 J3 和 J4。J3 口共有 7 针，包括 RS-232/422 的接口引脚和读写器模块的电源端，接地端，J4 口为 4 针接口，提供电源和操作状态的 LCD 灯指示信号，H6152 读写模块操作既简单又方便，读写过程稳定有效。它集成了 PCB 板载天线电路和 RS-232/422 接口的集成读写模块，还提供了 RS-232/422 接口与 TTL 接口的转换电路。H6152 不自带电源或电池需外界 +5V 电源供电。主要性能指标，其工作在 +5V 的电源电压下，工作频率为 13.56MHz，串行通信波特率有 9600bps、19200bps、38400bps 和 57600bps 4 种可选，工作温度在 $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$ 范围内，最大读写距离可达 50mm 等。

3.8.3 IC 卡读写电路的原理及说明

IC 卡应用系统的硬件设计结构框图如图 3-13 所示。Nios II 软核是本设计的核心器件，它的主要任务是完成了对射频卡的读写操作。H6152 读写器对射频卡进行读写后通过串口电平转换电路将 RS-232 电平转换为单片机所识别的 TTL 电平，从而达到了使用集成芯片来控制射频卡的读写过程的目的。

图 3-13 IC 卡应用系统的硬件设计结构框图



硬件电路由Nios II内核模块、串口电平转换模块和H6152读写模块3部分电路组成，其工作原理分别如图3-14, 图3-15, 图3-16所示。

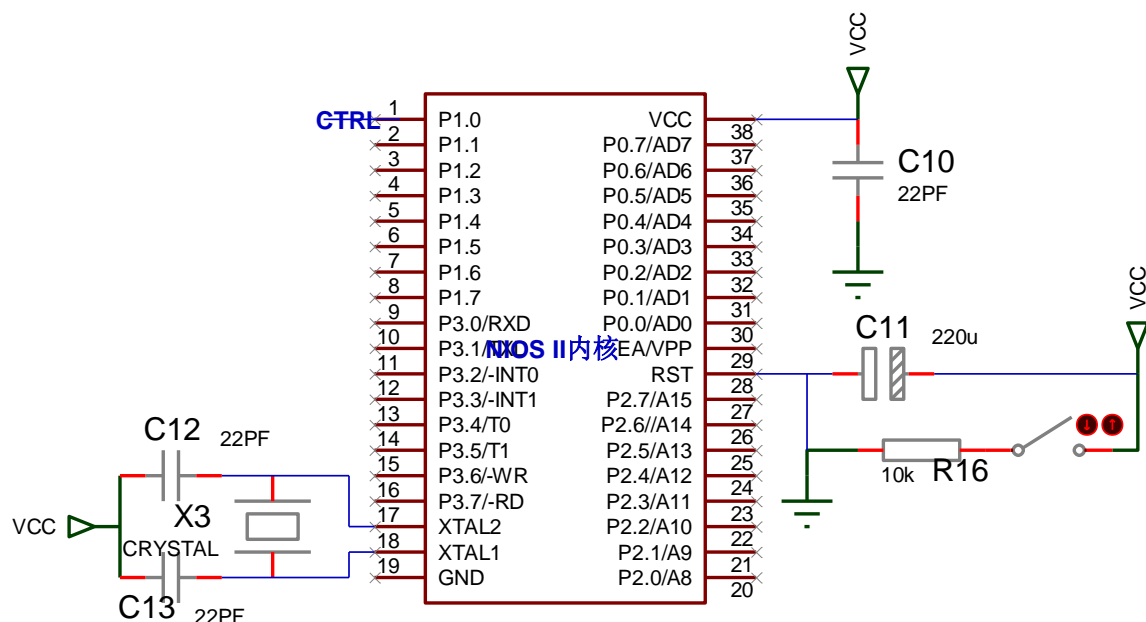


图 3-14 Nios II 内核模块

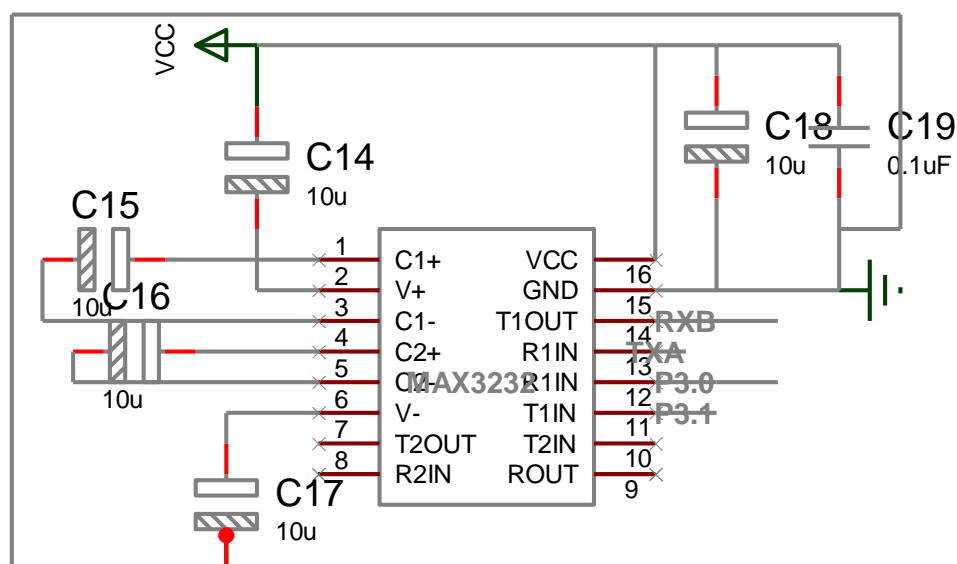


图 3-15 MAX3232 的接口电路

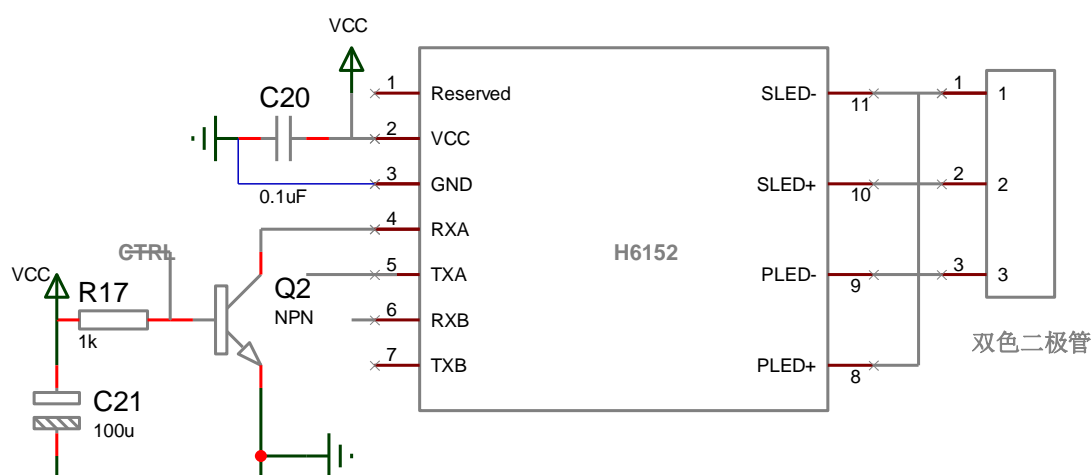


图 3-16 读写模块

U1 为集成芯片，芯片的 P1.0 对 H6152 的控制输出，它控制了 H6152 的工作状态，同时 SOPC 也对蜂鸣器输出进行控制，蜂鸣器接集成芯片的 P3.6 引脚。XTAL2 和 XTAL1 分别为反向放大器的输入端和输出端。该反向放大器可以接内振荡器，石晶振荡和陶瓷这两种震荡器都是可以采用的，对设计没有影响。如采用外部时钟源驱动器件，则 XTAL1 不需要接。本设计的外部时钟电路是将 XTAL2(18 脚)和 XTAL1(17)脚分别对接外部晶体和微调电容的两端所构成。另外集成芯片中还带有复位端，为了安全方便，集成芯片采用了上电自动复位和手动复位两种。

串口电平转换电路采用 Maxim 公司的 MAX3232 实现。MAX3232 将单片机的 TTL 电平转为 RS-232，然后与 H6152 的 RS-232 接口直接相连。RS-232C 是数据终端设备(DTE)和数据通信设备(DCE)之间的接口标准，是在微机接口应用中常用的一种串行通信总线标准，全称为 EIA-RS-232C 标准(Electronic Industrial Associate Recommended Standard-232C)。RS-232C 标准的信号线共 25 根，其中只定义了 22 根。这 22 根信号线又分为主、辅两个信道，大多数微机串行通信系统中都只使用主信道的信号线。在通信中，即便是只使用主信道，也并非主信道的所有信号都要连接，一般情况下只需使用其中的 9 根信号线，这就是为什么在微机的机箱上串行通信接口(如 COM1、COM2)只有 9 根的原因。RS-232C 串行通信接口标准中，对于发送端，规定 $-5V \sim -15V$ 表示逻辑“1”(MARK 信号)，用 $+5V \sim +15V$ 表示逻辑“0”(SPACE 信号)，内阻为几百欧姆，可以带 2500pF 的电容负载。负载开路时电压不得超过 $\pm 25V$ 。对于接收端，电压低于 $-3V$ 表示逻辑“1”，高于 $+3V$ 表示逻辑“0”。

本设计采用蜂鸣器组成的一个报警器，它们分别与 Nios II 内核的 P3.6 引脚相

接。报警器的电路如下：

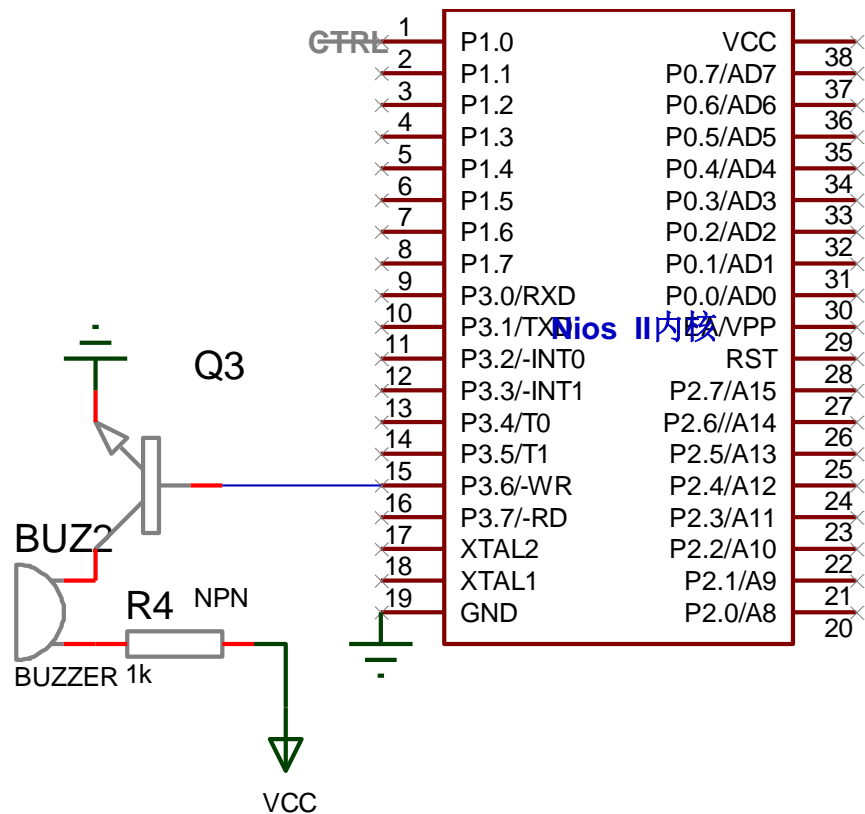


图 3-17 报警电路

4 智能电表的软件设计

整个系统中，软件和硬件是同等的重要，要使系统能够实现预期的功能，软件和硬件缺一不可。为此简单的介绍了软件的设计。本系统的软件设计是基于 Eclipse C++ 的软件环境采用 C 语言编程和调试的。

4.1 主流程图

电能表软件系统的设计，也可划成几个模块，包括功能操作模块及系统参数自我校正模块。系统功能操作模块的主要作用是为操作人员与系统之间搭建一个对其控制的桥梁，从而能对系统进行有效的管理。所以我们把功能模块视为该电能表软件模块的核心部分。其工作流程图如下图所示。

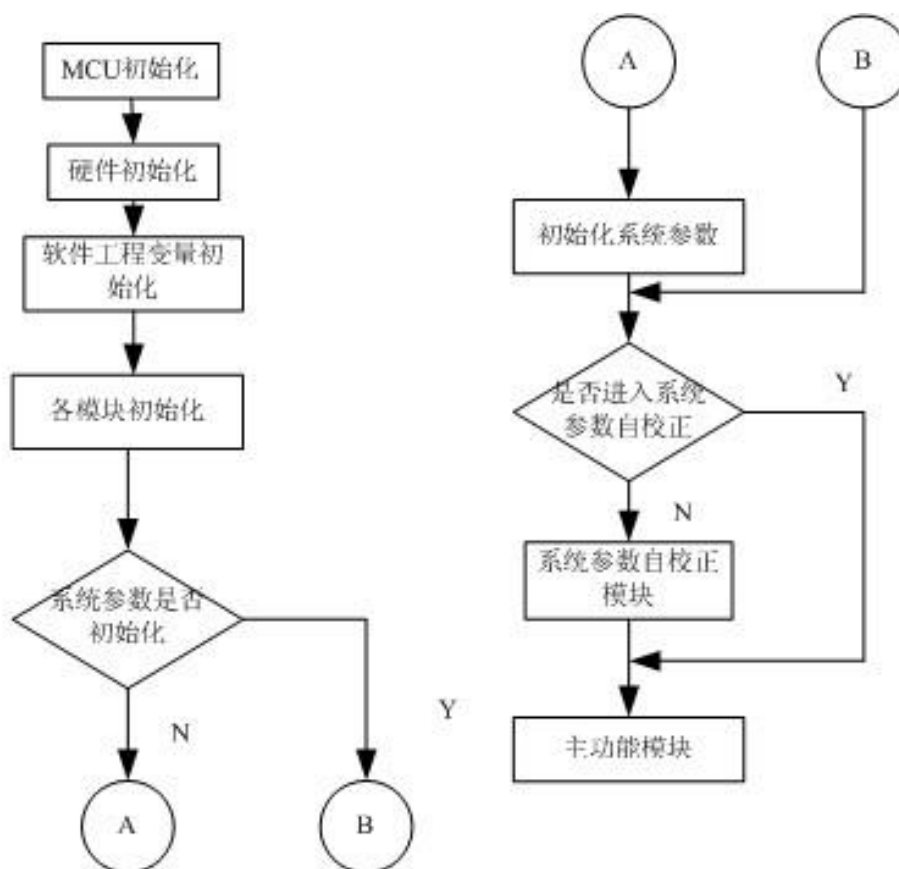


图 4-1 功能模块

图中涉及到的系统参数包括波特率、电能常数等, 相应的初始化对象包括 GPIB 地址、波特率、电能常数、电压/电流偏置系数以及功率系数等。系统参数自校正模块主要作用是对该表的系统参数自我校正提供了一个可操作界面, 用户可以通过该功能模块对该表的电压、电流、功率等相关参数进行调节, 重要的是可以把校正后的数据保存到扩展的存储单元中。主功能管理模块主要包括电能检定功能模块、键盘操作模块、电量测量模块、显示屏的背光开关功能模块、系统参数设置模块及日历时钟显示模块几个部分。

4.2 系统子程序模块

4.2.1 系统参数自校正模块

系统参数自动校正模块的功能主要是对该电表的系统参数的自我校正提供一个人机交互界面, 用户可以通过该功能模块对该表的功率以及其他电变量参数进行手动校正, 校正后的数据也能够存到存储器中。其操作的简要过程为: 先给输入通道加满量程信号, 观察显示屏中的显示数值, 如果经判断确定显示值不符合实际情况就可以

通过键盘操作调整芯片存储器内电压、电流、功率等参数，从而实现对系统参数进行校准，校准后将系统参数保存，以确保系统对数据测量的精准度。其流程图如图 4-2 所示：

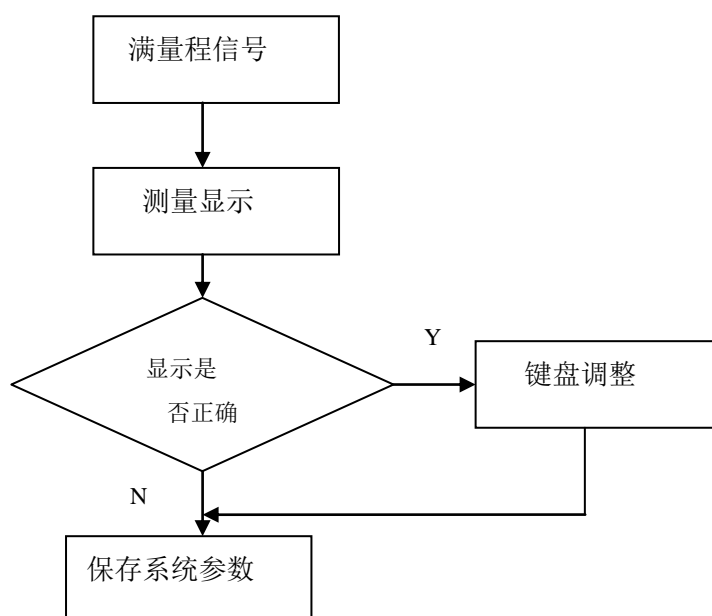


图 4-2 系统参数校准流程图

4.2.2 电量测量功能模块

AD7755 测量程序用来控制 AD7755 对模拟输入电量的测量、转换和计算，并将测量值，瞬时功率、电压瞬时值、电流瞬时值保存到内核系统相应的寄存器中，然后根据系统程序和键盘命令进行调用、输出、显示。其流程图如图 4-3：

4.2.3 电能检定功能模块

通过键盘设定系统为电能表鉴定模式，使电能表 ETU0 端输出脉冲通入电能表鉴定装置进行电能表鉴定。流程图如图 4-4：

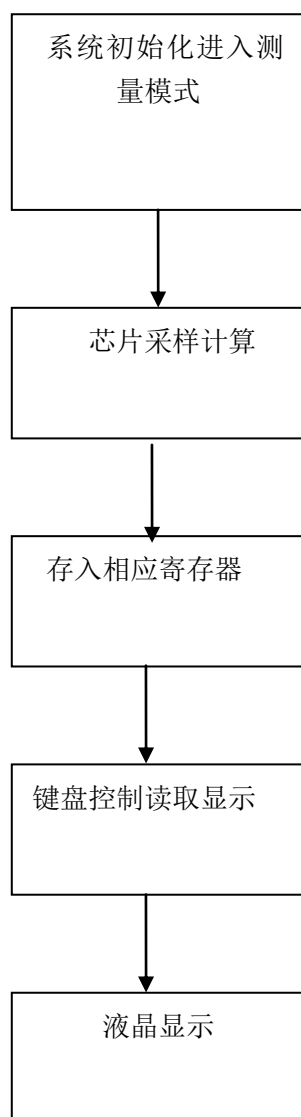


图 4-3 测量流程图

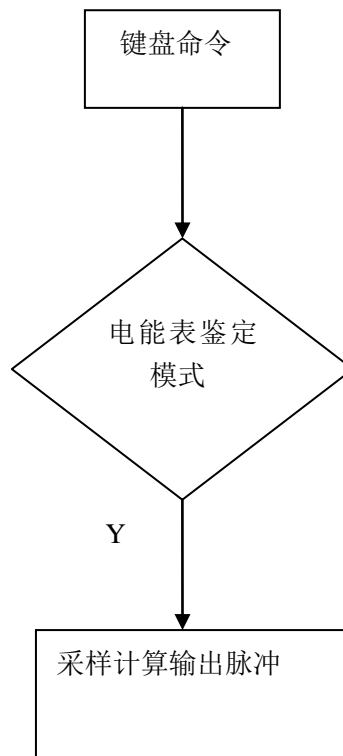


图 4-4 电能表鉴定模式

5 实验调试与总结

5.1 实验验证与结论

从本课题的实际情况出发，对电能表系统的调试工作，可以分为硬件调试、软件调试和软硬结合调试几个部分。电路则是每个模块逐一调试，各模块都完成调试后，再结合起来联调。软件先在系统板上进行，确保外部电路能够正常工作后，再把软件植入芯片与硬件系统结合起来进行调试。

5.2 电能表硬件调试

硬件调试，先认真查看各个硬件模块电路的连线是否正确，再用万用表检测有无短路或虚焊的现象，以及器件的规格、极性是否选择正确。检查完毕，用万用表测量一下电路板电源端正负之间是否存在电阻值，避免电源的损坏。

5.3 电能表软件调试

本系统的软件调试因为硬件是基于 SOPC 技术而变得相对容易，keilc 软件开发环境，能自动判断语法和逻辑是否有错，判断程序符合要求后，可以直接 down 到集成芯片中进行调试。

5.4 电能表软硬件联调

在确保软件和硬件调试都符合要求的情况下，再把硬件系统和软件系统结合在一起进行调试。调试的方法按照至上而下，对模块逐个调试：首先，调通 LCD 液晶显示模块，接着给芯片 AD7755 的电压通道和电流通道通入满量程信号，根据液晶显示数值的情况对系统参数进行设置，进而对测量进行校准调试。调试完成后，我们能确定该芯片能正常工作后，再把交流市电与电表系统接通进行进一步校准调试。等模块逐一调通后，再把所有模块电路结合调节。最后连接成一个完整的系统调试。

5.5 实验结论

在这段时间里，在电能表硬件部分设计好的同时，在软件方面，我们用 C 语言对电能表的各个模块以及主程序进行编程，从理论上基本能实现电能表的设计要求，在设计过程中通过各种方法的搜索资料，也让我们学到了不少的搜索方法，并且也大致了解了在做项目中的思路以及方向，也学到了不少知识，让我们深刻地领会到做一项设计要具备持之以恒，要有严谨的设计思路。由于我们对 C 语言编程知识的有限，在

调试过程中没有进行充分的调试，以致没有完全达到我们的预期设计目标，这也提醒我们在今后的设计中要把理论与实践多结合，通过不断地实践才能很好的解决困难，从而达到我们的设计目标。

5.6 小结

经过自己的调试后，电能表基本上满足了预期的设计目标，但由于各种各样的原因，比如自己的个人能力有限，仪器设备等，有些还是不能让自己满意，例如，灵敏度不够，响应速度慢，不精准等缺点。但自己已经尽了自己最大的努力，虽有写不足，但总能满足要求，心里还是些许满足。

在整个调试的环节中，让我学到了许多，增强自己的动手实践能力，能发现并及时解决出现的问题。同时，让我学会了主动请教老师同学，从中学会了很多。最后让我对设计有了一个整体的思路，不能总是顾一面，要有大局的思路与想法，要化繁为简，一个个问题按顺序的解决。

6 总结与展望

本论文先简单的论述了智能电表的定义，概述了国内外电能表的发展历史，之后分析了电子式电表组成结构和工作原理。再根据目前电力工业的发展要求确定了本文对电子式电表的设计要求以及实现方案。

硬件设计部分，通过Nios II内核对整个系统进行管理控制，用AD7755电能计量专用芯片完成了各种电量的测量，通过LCD显示模块实现对电能表电量参数的查询显示和时间显示，使用的日历/时钟芯片用于为电能表的时段划分提供准确的时间。

此智能电能表在设计过程中采用了新型的电能测量芯片AD7755。该芯片集模/数转换、滤波、计算等多种功能于一体，大大的而简化了电能表的硬件电路设计和软件设计，从而提高了电能表的计量精度。电能表包括电流/电压信号采集单元、信号处理单元、日历/时钟单元、功能键单元、数据存储单元、显示单元、通断电控制单元、红外通信单元。所设计的电能表完成了如下功能：

- ① 存储用户每个月的用电总量，存储各月峰时、平时、谷的各时段电量；
- ② 具有显示功能包括该月该时的用电量以及日历；
- ③ 具有过电压、过电流、欠电压保护功能以及欠费停电功能和停电后送电的功能；
- ④ 能够测量瞬时电流、瞬时电压、电压有效值、电流有效值等电量参数；

系统以 Nios II 内核和芯片 AD7755 为核心，利用该芯片及外围电路实现对信号的模拟-数字转换和功率计量，并通过软件程序很好的完成了对数据的累加，以此计算得到总的能量。本系统主要包括俩个模块：第一个是对瞬时电压和电流采样以及功率的计算，主要由芯片 AD7755 和外围电路组成。外围电路将输入电压信号转换为 AD7755 可以接受的小电压信号。AD7755 则完成电压信号的采样及功率计算，并将结果通过串行接口输入给 Nios II 内核。第二个是结果显示模块，它主要由单片机及数码管及外围电路组成。该模块将第一个模块得到的结果显示到数码管上，并存入存储器内，同时累计得到电能，再乘以相应的比例系数则可以得到所测的真实值。

本设计的主要难点：

- (1) 设计方案的设计与选择；

(2) 各模块中电路的设计与最优选择;

(3) 前端调理模块中外围电路电阻阻值的选取, 电阻阻值应尽量精确, 且阻值的选取应很好的满足 AD7755 对输入电压信号大小的要求;

本次论文设计的电能表还有许多功能的不足, 只有基本的显示, 峰谷计费。IC 卡功能等。希望在以后的设计中还能增加其他功能, 例如按键, 联网通讯, 实时数据采集控制保存, 自动抄录等等。

随着微电子技术、计算机技术、网络技术的进一步发展, 智能仪器的功能将会得到进一步的增强和提高。需要进一步研究的智能仪器设计方法是: 各种网络接口技术在智能仪器中的应用, 嵌入式计算机技术在智能仪器中的应用, 实现智能仪器向虚拟仪器的过渡。对于设计的智能型多功能电能表抄表系统来说, 还需跟随计算机技术和网络技术的发展, 研制具有集中抄表功能的电能管理系统。

这些工作还需在下一步的研究工作中具体实现。

7 经济分析报告

每一种新产品的设计和开发，大部分都是基于该产品能带来更大的收益。要获得更大的收益，就需要得到购买者的认可，这就是性价比的问题，也就是说如何用最少的钱买到最好的产品。那么对于生产厂家而言，怎样使用最小的成本生产出最有市场价值的产品无疑是设计过程中非常重要的问题。所以，在设计中，如何通过设计来减少材料的使用和提高材料的利用率，并通过整体设计使产品的性能价格比最优化，是设计者必须重视的问题。

此文对智能电表设计进行了研究。系统有平常同行所需要的硬件，和一套可行性高的程序组成。

7.1 目标成本

单位产品目标成本=预测价格 x (1-税率-目标利润率)

此处税率=8%， 目标利润率=50%

7.2 初步计算成本

根据本设计的系统所需的材料费用、工资、折旧等消耗，定价参考目前市场价格，得出了成本概算见表 1

表 1：SOPC 智能电表设计成本概算表（单位：元）：

序号	项目	金 额	备注
1	电源模块	20	变压器 电容
2	EEPROM 存储器模块	4.5	AT24C02
3	SOPC IP 核	200	Nios II
4	电能计量芯片模块	5.5	AD7755
5	时钟模块	1.5	DS1302N DIP-8 实时时钟芯片
6	LCD 显示模块	20	GXM12864
7	IC 卡模块组成	3	Mifare 1 IC S50 系列微晶片
8	其余材料	21.5	
总计	276	产品销售费用/个	

7.3 经济分析及市场前景预算

国家智能电网的进一步建设和市场要求的不断提高, 新兴智能电表已成为市场的重要需求产品之一。好的设计方案, 不但要看技术含量, 而且要看它是否实用, 性价比是否适当。本次设计的 SOPC 智能电表采用电方面智能化, 数字化, 自动化。由于本次设计的智能电表系统操作方便, 安全, 对硬件以及技术要求不高, 可以电脑操作省去人工操作麻烦, 也方便及时维修减少停电时间, 使电力用户不用跑到屋外找电表查询电量, 可以直接通过电表上的液晶显示屏查看电费, 告警, 历史用电, 实际店家等信息. 另外 SOPC 是 PLD 和 ASIC 技术融合的结果, 目前 0.13 微米的 ASIC 产品制造价格仍然相当昂贵, 相反, 集成了硬核或软核 CPU、DSP、存储器、外围 I/O 及可编程逻辑的 SOPC 芯片在应用的灵活性和价格上有极大的优势。SOPC 被称为“半导体产业的未来”。

致 谢

光阴荏苒，大学生生活弹指一瞬间，还没来得及回味却又将快步的踏入社会，太多的美好，太多的不舍。还好毕业设计给了我大学生生活的划上句号的机会，也为将来的人生之路开启了新的征程。在大家的帮助下本设计才得以顺利的完成，这里要感谢的人实在太多了，首先要感谢朱永红老师，因为本设计是在朱老师的悉心指导下完成的。朱老师渊博的专业知识、严谨的治学态度、一丝不苟的工作作风、诲人不倦的高尚师德对我影响深远，一直是我工作、学习中的好榜样，他的循循善诱的教学方式和不拘一格的想法也给予了我无尽的启发，是我人生中不可多得的一位良师益友。

在课题设计过程中，朱老师经常与我交流，询问我的设计进展，及时为我解答设计过程中遇到的各种问题，并认真布置下一阶段的设计任务。在我做毕业设计的几个月里，朱老师指导我完成了文献查找、开题报告、中期报告的撰写等等，每次他都认真地给我批阅论文，指出其中的不合理的地方。朱老师要指导很多同学的毕业设计，加上本来就有自己的教学任务，确实比较辛苦。

为期几个月的毕业设计将以答辩的形式得到终结，通过朱老师的细心的指导和无私的帮助，再加上几个月的付出，本课题的设计与论文撰写算是在某种程度上得到了完成。在设计的过程中，我全面的梳理自己所学的专业知识，并且大量翻阅了参考资料，搞懂自己碰到的专业方面问题。也真是在这个过程当中，培养了我的自学能力和动手能力，由原先的被动地接受知识转换为主动地去探索知识，这可以说是在学习方法上的重大突破。同时，我学会了如何将书本上的知识真正转化为自己的东西，怎么更好地把理论知识用到实践当中去。

说长不长说短不短即将结束，借答辩这次机会，向一直以来辛勤培养、关心和无私帮助过我的老师们至予最诚挚的敬意和衷心的感谢！当然，毕业设计的顺利完成离不开各位同窗好友的关心和无私帮助，他们帮助我查资料并且提供有利于本设计的建议和意见，使得本设计可以得到一定的完善。我也从他们身上学到了很多，在此也向他们表示最诚挚的谢意！

最后要感谢父母和亲人，正是他们默默的支持和关心，才使我得以最终顺利地完

成学业。

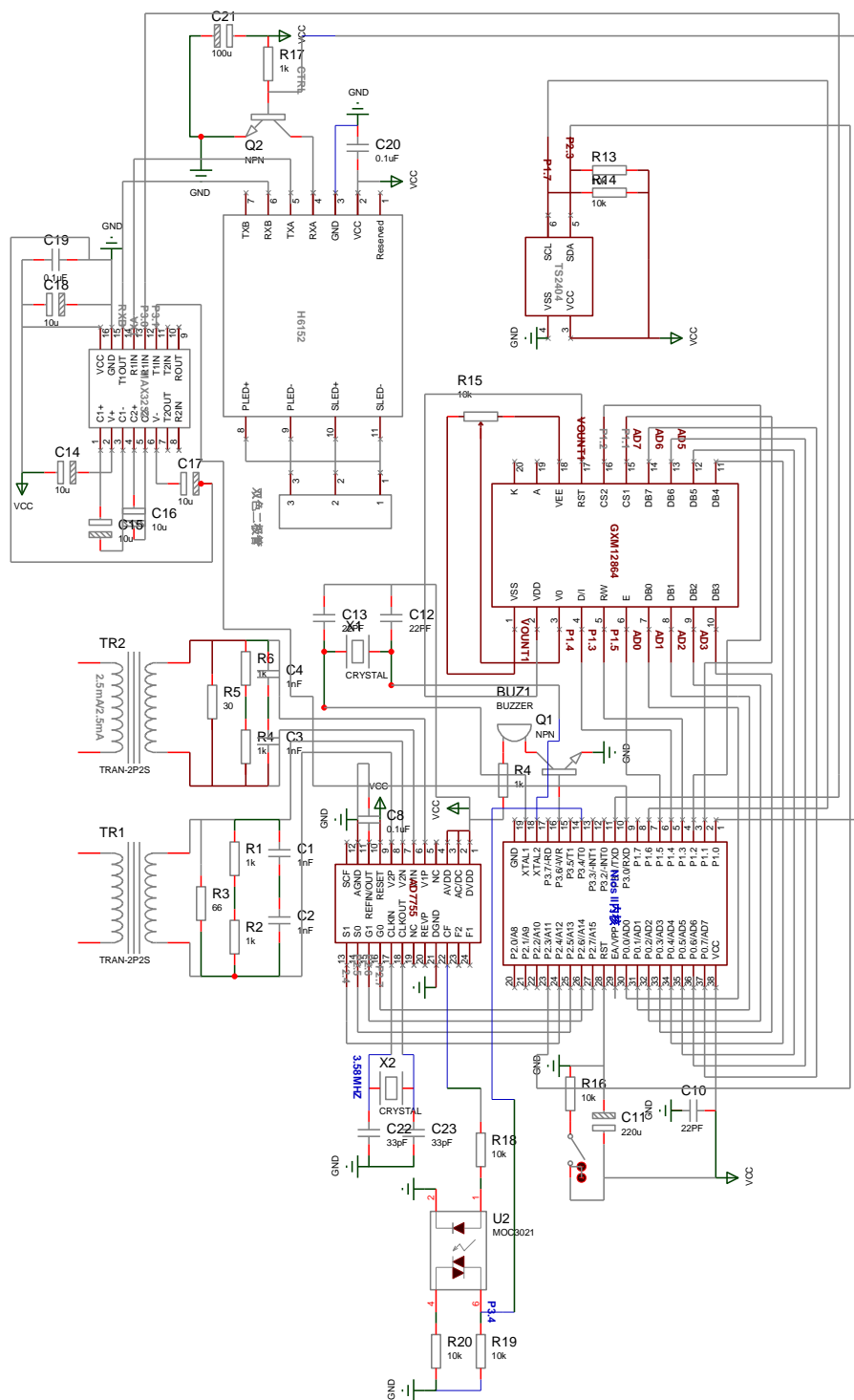
参考文献

- [1] 陈向群. 电能计量技能考核培训教材. 北京: 中国电力出版社, 2003
- [2] 黄森云, 李也白, 王福成等. 智能卡应用系统. 北京: 清华大学出版社, 2000
- [3] 付先学, 智能电力监测系统设计方案, 电测与仪表, 2004
- [4] 赵伟, 庞海波等, 电能表的发展历史 1999
- [5] 智罗旭, 张彦斌, 胡国鹏等. 电子式电能表专用芯片 CS5460A 及其在电测
- [6] 李全利, 仲伟峰, 徐军. 单片机原理及应用. 北京: 清华大学出版社, 2006,
- [7] 张培仁. 基于 C 语言编程: MCS-51 单片机原理与应用. 北京: 清华大学出版社, 2003
- [8] 郑文, 赵伟等, 电能自动抄表技术及相关思考、电测与仪表 2001
- [9] 刘乐善, 微型计算机接口技术原理及应用[M], 华中理工大学出版社, 1999
- [10] 陆永宁. IC 卡应用系统[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000:10-12
- [11] 刘建民. 电测仪表与电能计量. 北京: 中国电力出版社, 1998
- [12] 万全. 新型多用户电子式电能表的研究与设计. [湖南大学硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2004
- [13] 王祖强, 朱敏, 王照军. 并行实时时钟芯片及其应用[J]. 电测与仪表, 2001, 38(426):53-54
- [14] 周立功, SOPC 嵌入式系统基础教程北京: 北京航空航天大学出版社 2006
- [16] Henzinger T, Kirsch C, Majumdar R, et al. Time-safety checking for embedded programmes. in Proc.of the Intl. Workshop on Embedded Software of Lecture Notes in Computer Science, 2002.
- [17] Henzinger A Thomas, Benjamin Horowitz, Christoph Meyer Kirsch. Embedded Control Systems Development with Giotto. the Proceedings of the ACM

Workshop on Languages, Compilers and Tools for Embedded Systems (LCTES), 2001.

- [18] LiuKai, PanLiyang, Zhu Jun. A flash IC card with programmable security code [C]
IEEE The 4th International Conference on ASIC Proceedings. Piscataway, USA:IEEE2001

附录



总电路图