
摘要

随着我国城市居民住宅建设的迅速发展，楼房用表日益增多，传统的将多个电能表集中挂成一面“表墙”的应用方式，体积大，工程造价高，不利于新型住宅的集中用电管理。智能多用户单相载波电能表采用电能计量专用芯片与高性能单片机，实时对多个用户用电量分别计量、集中控制和管理。

电表的可靠性、使用寿命、计量精度是系统设计的关键。本文选用美国ADI公司的ADE7755高精度电能测量集成电路作为计量芯片，经过精心设计外围电路，满足远远高过功率因数(PF)等1时和PF较低($PF \pm 0.5$)时的精度要求，同时电能表的动态范围也超过500。智能处理单元设计以PIC16C65B微处理器为核心，实现电能脉冲的采集、累积、数据处理与存储，实时时钟连接，用电量显示及通信等功能。远程通信采用低压电力线载波通信方式，便于供电部门对居民用电情况进行实时抄收、数据汇总和监控。本表还设计了红外通信模块，与手持掌上电脑通信，为没有安装远程抄表的用户提供本地抄表的功能。

本文在设计中考虑电磁兼容问题，对电路中器件的选择与排列、布线方式、接地及屏蔽等方面深入分析，有效地解决了各表芯相互影响而造成的潜动问题；多表位同时校验问题；载波抄表的可靠性与速度问题；非易失存储器的数据保护和使用寿命问题等技术难点。结构设计采用积木式插接工艺，适于规模化生产。硬件成本低，体积小，安装接线简单，扩展性好，适应现代化供电网络管理和住宅智能化管理的需要，极具市场潜力。

关键词 电能表；多用户；电力线载波；自动抄表

The research of intelligent multi-user meter based on single-phase carrier

Abstract

With the rapid development of our citizen's residential construction, the number of energy meters in buildings are increasing day by day. Traditional application mode focusing many energy meters pegged as a "meter wall", is not conducive to the concentration of new residential electricity management for its big size and high cost. Intelligent multi-user energy meter based on single-phase carrier can measure, centralized control and manage several users' electricity consumption in real time using ASIC and high-performance microcontroller.

The key of the designing of the system are reliability, service life and accuracy of measurement. In this paper, with the use of high-precision ADI's ADE7755 and the design of the external circuit, the system can meet the accuracy requirements when the power factor (PF) is much higher than 1 and $PF \pm 0.5$, in the meantime the dynamic range of the energy meter is higher than 500. The core of the intelligence processing unit is PIC16C65B, which can collect and accumulate the electric pulse, process and store the data, connect the clock in real time, show the electricity consumption and realize the function of communication. Remote communication using low-voltage power line carrier communication facilitates the electricity sector on the residents' electricity consumption in real-time reading, data collection and monitoring. The design also include infrared communication module which can communicate with PDAs for the clients that don't have remote reading system to complete local reading function.

This design effectively sets out the problems that come from the influence of other chips, realises the check of multi-meters at the same time, promotes the speed and the reliability of the meters, and resolves the difficulties about the data protection of non-volatile memory and service life through considering about the electromagnetic compatibility issues, such as analyze thoroughly of components

selection and arrangement, wiring, grounding and shielding in the circuit. Structural design adopts Plug-use building blocks process, which is suitable for large-scale production. The advantages of low cost of the hardware, small size, simple wiring installation, scalability, and the suitability for the needs of modern power supply network management and intelligent home management make the product have the most market potential.

Keywords energy meter, multi-user, power line carrier, automatic meter reading

目 录

摘要	I
Abstract	II
第 1 章 绪论	1
1.1 电能表的发展历程	1
1.2 电子式电能表国内外研究现状	3
1.3 自动抄表技术	4
1.4 本研究课题的目的及意义	5
1.5 本文的主要内容	6
第 2 章 系统总体方案设计	8
2.1 多用户载波电能表基本原理	8
2.2 多用户载波电能表技术指标	9
2.3 本章小结	11
第 3 章 电能计量单元的设计	12
3.1 电子式电能表计量原理	12
3.2 ADE7755 芯片	12
3.2.1 ADE7755 的结构和特点	13
3.2.2 ADE7755 的工作原理	14
3.2.3 ADE7755 引脚排列及功能	19
3.2.4 ADE7755 工作特性设定	21
3.3 基于 ADE7755 电能计量模块的设计	23
3.3.1 分流器的设计	23
3.3.2 单用户计量单元的电压通道参数设计	24
3.3.3 单用户计量单元调整网络设计	24
3.3.4 抗电磁干扰设计	25
3.4 本章小结	26
第 4 章 智能处理单元设计	28
4.1 PIC 系列单片机简介	28
4.1.1 PIC 系列微控制器硬件结构特点	28
4.1.2 PIC16C65 单片机性能特点	30

4.1.3 PIC16C65 引脚功能	31
4.2 数据存储芯片 FM24C256.....	32
4.3 时钟电路设计	35
4.3.1 RX-8025 的结构及工作原理	35
4.3.2 RX-8025 的特点及管脚功能	36
4.3.3 RX-8025 的应用	38
4.4 LED 显示电路设计.....	40
4.5 红外通信接口设计	42
4.5.1 红外自动抄表系统的构成	43
4.5.2 红外通信硬件电路设计	44
4.6 低压电力线载波通信接口设计	46
4.6.1 低压电力线载波通信系统的设计	46
4.6.2 载波扩频通信接口电路设计	48
4.6.3 载波发射电路设计	50
4.6.4 载波接收电路设计	51
4.6.5 电力线耦合电路设计	52
4.6.6 电力线载波通信电路抗干扰设计	53
4.7 多用户载波电能表电源电路设计	54
4.8 本章小结	55
第 5 章 智能多用户电能表软件设计	56
5.1 系统软件的总体流程	56
5.2 电能脉冲采集模块	57
5.3 最大需量模块设计	59
5.4 I ² C 总线模块	60
5.5 显示模块软件设计	63
5.6 通信模块软件模块	65
5.7 通讯协议	66
5.8 本章小结	71
结论	72
参考文献	74
个人简历	74
致谢	77

第 1 章 绪论

随着市场经济体制的建立，电力已经作为一种商品走向市场，电力企业管理正转向商业化运行。而在电力商业化管理过程中，电能表无疑是一杆“秤”。目前，居民生活用电所占的负荷比例快速地、大幅度地逐年上升，对其电量进行管理是电力企业目标/成本控制的重要组成部分。对居民生活用电实施“一户一表”的计费方式是各级供电部门正在抓紧实施的一项工程。

目前，绝大多数用电管理是采用最原始的分散计量、人工抄表，它离自动化的目标还非常遥远。当前城镇居民住宅公寓化，相对较为集中，及时开发并推出适合国情，既面向未来电量管理自动化建设的需要，又适应现行的运行管理体制的多用户表，是民用电计量、管理的大势所趋。

随着用电量的急剧增长以及由此引发的能源供需矛盾加剧，许多工业大国日益重视电能管理，都在通过技术改造等各种手段加强对电力负荷的监控，以实现计划用电与合理配电，从而提高电网负荷率。现代电能管理强调自动化、智能化，要求以高新技术手段确保经济杠杆调配电能的使用，以求更高的供用电效率。这便对电能计量仪器仪表提出了多功能化的要求，希望它不仅能计量电能，而且也能应用于管理。因此功能单一的感应式电能表已不适应现代电能管理的要求，电子式电能表应运而生。

1.1 电能表的发展历程

作为测量电能的专用仪表电能表，自诞生至今已有 100 多年的历史。因为 1kWh 的电能量被定义为一度电，所以按计量单位，电能表又俗称电度表或千瓦时表^[1]。电能表在电能管理用仪器仪表中占有很大比例，其性能直接影响着电能管理的效率和科学化水平。100 多年来，随着电力系统、所有以电能为动力的产业的发展以及电能管理系统的不断完善，电能表的结构和性能也经历了不断更新、优化的发展过程^[1]。电能表已经经历了感应式电能表、机电脉冲式电能表、电子式电能表、集中式多用户电能表四个阶段。

1. 感应式电能表（机械表）

在电力系统发展的早期，感应式电能表被广泛用于工频(50Hz 或 60Hz)电能的测量。感应式电能表是利用处在交变磁场的金属圆盘中的感应电流与有关磁场形成力的原理制成的，具有制造简便、可靠性好、价格便宜等特点。经过不断改进和完善，感应式电能表制作技术已经成熟。通过双重绝缘和采用高质量双宝石轴承甚至磁悬浮轴承等技术手段，其结构和磁路的稳定性得以提高，电磁振荡被削弱，使用寿命大大延长，且过载能力明显增强。但受其工作原理以及材料工艺等条件的局限其测量准确度很难提高。另外，感应式电能表是针对很低且十分狭窄的频率范围的正弦电压和正弦电流而设计的，但现代电力系统中采用硅整流与换流技术，这些非线性负荷产生大量高次谐波并引起不平衡，致使电网电压波形产生畸变、波动及三相不平衡，对感应式电能表产生不利影响，使其指示不正确，由此可能造成操作、管理人员做出错误的分析判断。

2. 机电一体式电能表 20 世纪 60 年代，为了扩展电能表的使用功能，出现了机电一体式脉冲电能表。这种表仍然采用了感应式电能表的测量机构，只是利用光电传感器将电能转换为电脉冲信号，通过电子电路对脉冲信号的计算与处理，完成电能的计量工作，它通过电子部分的各种变换来实现人们不同的实际需求。

机电式电能表的出现，极大地解决电能表的功能单一的问题，电能表可以通过软件编程实现远程自动抄表、负荷控制参数的分散采集和存贮等功能，使得分时电价和需量电价制度能够有效地实施和推广，充分发挥了电力在国民经济中的作用。但是它是以前感应系测量机构作为其测量主回路的原理性缺陷，决定了它同样具有感应系电能表一样的准确度低、适用频率范围低等缺点。

3. 电子式电能表 为了替代感应系测量机构，从 20 世纪 70 年代起人们就开始研究并试验采用电子电路来测量交流电能。由于电能是电功率对时间的积分，所以任何电子电路式电能计量方案的第一步都是确定电功率。因而，使用乘法器是实现测量电功率和电能的电子电路的共同特点，全电子式电能表多采用模拟或数字乘法器作为核心器件。近年来，微电子技术、计算机技术和通信技术的高速发展，有力地推动了电子式电能表技术的迅速更新与进步。高准确度、高可靠性的元器件以及大规模电路集成技术和电路制造的表面贴装技术等应用于电子式电能表的开发与生产，使电子式电能表寿命提高、功能多种多样，且仍在不断扩展，并逐步使供用电管理的微机化和自动化成为现实^[2]。

电子式电能表与感应式电能表相比，具有一定的技术优势：

误差特性较为稳定，不像感应式电能表越走越慢。实际运行和加速老化试

验都说明了这一特点。电子式电能表的故障能较明显的表露和被发现。

电子式电能表内阻小、损耗低，是节能仪表。有助于在已有计量装置中解决互感器过载和一次电压降超标问题，从而提高计量综合精确度。

电子式电能表较轻，比感应式电能表节省大量有色和黑色金属，而且安装轻便。

使用电子式电能表彻底改革了原来电能量运行，检修的工作流程，革除了洗表的环节。如果故障表按合同规定由生产厂保修保换，则更简化了管理流程，可集中精力把好验收校验，对运行中缺陷故障统计分析以及招标时对各厂产品评定质量，彻底改革了电能表管理使适应电力市场经济要求。

电子式电能表能直接输出规范的电能脉冲，便于校验和实施远方自动抄读表，便于电力市场发展中对表计扩展功能的实现。

4. 集中式多用户电能表 多用户电能表是将多个电子式电能表组合在一起的一种新技术电能表，它采用大规模专用芯片与高性能单片机实时对多个用户用电量分别计量、集中控制与管理，主要用于居民楼的集中用电计量、计费管理等^[3]。它将传统的每户均设一块机械式电能表的模式改变为一个单元甚至一幢楼仅用一块表，加之可用专用抄表器，以及可与计算机联网进行远程抄表，使计费管理极为方便。

1.2 电子式电能表国内外研究现状

电子式电能表在一些工业发达国家使用较为普遍。早在 1976 年，日本就研制出了电子式电能表。70 年代末至 80 年代初，电子式电能表在现场使用环境下暴露出抗干扰能力差等弱点，曾一度影响了它的应用进程。电子式电能表最先在日本商品化。80 年代中后期，随着电子设计与制造新技术的出现并被采用，电子式电能表在各种现场环境下的工业可靠性问题被攻破，电能表电子化的浪潮席卷欧美，在工业发达国家迅速发展，相继出现了一批寿命长、可靠性高、适合现场使用的电子式电能表；其中一些表已可在很宽的电压、电流范围内进行自动量程切换。到 20 世纪 80 年代末 90 年代初国外大公司相继推出了全电子式多功能电能表，如瑞士兰地斯公司(LANDIS & GYR)、法国斯伦贝谢公司(Schlumberger)和美国通用电气公司(GE)等。电子式电能表在实施复杂的多费率、最大需量和电能数据传输及交换等方面具有明显的优越性，实现了测量有功、无功电能、功率因数、视在功率等几十个特征参数的多功能化^[4]。

进入九十年代，IC 卡技术在国外已得到广泛应用，智能型 IC 卡预付费电能表应运而生，该表基于用户先购电、再用电的管理思想开发研制的，使供电部门不再挨门挨户地花费大量人工抄表统计用电量，可以组成智能型复费率电能计量管理系统，加快了电能生产的商品化进程，

但其带来的诸多问题不容忽视。首先，常用的预付费电能表有磁卡式和 IC 卡式两种，为防止人为伪制作为有价证券的磁卡和 IC 卡非法牟取利益，按国家规定，磁卡和 IC 卡由银行系统销售，电费须经过银行；第二，为了避免由于电能价格变动造成买卖双方的经济损失，磁卡和 IC 卡不能大量销售，另有与磁卡和 IC 卡本身的成本不低，只能每表对应一卡，使得售卡工作量十分可观；第三，采用预付费电能表后，对实际用电量的统计和线损计算便不能实现。在国外，电力能源充足，物质十分丰富，西方式市场经济社会，只有用后分期付款，而无预付费购物、消费的模式。因此，在预付费电能表的制造成本不比其他类型电能表低的情况下，利用预付费电能表采用预先支付电费的方法，不大可能大范围推广。

70~80 年代，欧美各国相继起步，开始对远程电能表数据采集等进行研究。目前，自动抄表技术服务于电能管理的自动化，替代了原来要耗费大量人工、时间的繁琐的管理收费手段，较好地做到了实时收费，而更重要的是沿用了人们更易接受的先用电、后付费的管理模式^[4]。这种模式在欧美许多工业发达国家被普遍采用，不仅限于用电，而已是涉及人们生活的方方面面。在供、用电环节利用自动抄表技术，已成为配电综合自动化系统必不可少的功能部分。电子式电能表的出现，有力地推动了远程自动抄表技术的发展。

1.3 自动抄表技术

自动抄表 (Automatic Reading Meter-ARM) 是将数据自动采集、传输和处理应用于电能供用与管理系统中的一项新技术，采用通讯和计算机网络等新技术自动读取和处理表计数据^[5]。采用自动抄表技术，可提高抄表的准确性，减少因估计或誊写而造成的帐单错误，使供用电管理部门及时获得准确的数据信息；由于电力用户因此不再需要与抄表者预约上门抄表时间，还能迅速查询帐单，给电能管理的现代化创造了良好的条件。

国内外在这方面都正在大力发展开发研制工作。国外如以色列尤尼克 (Unique) 技术公司开发了 Collectric 集中抄表系统，利用现有的电网和电表，以电力线作为信息传递媒介，建立数据采集通讯系统，通过电力线载波技术将信息远距离传送。而由英国自动化仪表公司本部策划、组织，杭州沃特电气有限公司研制的 IC 系列电表，可按用户需要装上通讯接口，利用 RS485 标准接口、零电压脉冲继电器输出或 4~20 mA 线性输出进行远程监测。德国 D-Tech 公司则为此专门开发了 SMI 专用模块，用于电子式电能表的数据采集，以 400

脉冲/度或 800 脉冲/度向外输出功率脉冲^[6]。在国内，华立(Holley)集团、万胜(wellsMn)

电力仪表公司、华电总公司特瑞电力设备公司、深圳浩宁达、杭州奥特电力电子有限公司等均对自动抄表系统的开发投入了大量人力物力^[7]。

现在的自动抄表通信主要有以下几种方式：

1. **双绞线方式** 采用此种通讯方案的一般为位总线通讯方式，它包括RS485/422总线，其技术比较成熟、简单，在通讯信道正常的情况下通讯可靠、稳定，可以实现实时通讯，但是它在实际应用中存在布线工作量大，通讯信道易受人为损坏，损坏后故障排除困难、恢复慢，信道后续维护量大等不足。

2. **无线通信方式** 该技术方案属比较成熟的常规技术，但由于成本高，频段申请受无线电管理部门的控制，而且其微弱的信号特征也很易受空间日益复杂且严重的电磁干扰得影响，其推广受到极大的限制。

3. **电话线通信方式** 基于电话的自动抄表技术是一种已应用多年的成熟的技术。电能表可以经过专用的调制解调器通过公用的电话网与供电管理部门进行通信。电话线抄表方案充分利用了现有资源，无需投入大量资金进行线路改造，而且现在的电话线的通信质量非常高，特别适合快速传送大量的数据^[8]。但是供电部门需要向电信部门租用电话线，因此该方案只适合城市和电话网络普及的地区。

4. **电力线载波通信方式** 由于采用电力线做通讯介质，它具备了充分利用现有资源，易施工、满足相对分散装表，综合成本低、不受环境条件限制等优点。每个用户室内装设的电子式电能表就近与室内交流电源线相连接；电能表发出的调制脉冲信号经交流电源线发出，设置在小区内的中心站或远处用电管理部门办公室的计算机，则定期通过低压用电线路以载波通信方式，收集各用户电能表提供的用电数据信息^[9]。利用低压用电线路实施通信，对高层公寓或多承租户建筑（例如商业或办公楼）的电能表进行抄读是较为理想的技术方案^[10]。

1.4 本研究课题的目的及意义

我国的居民住房建设近年来发展十分迅速，大、中、小城市越来越多的居民住上了楼房，随之而来的是楼房用电能表的数量也日益增多。我国目前一个公寓楼房单元通常住有十几户甚至几十户居民，考虑到防窃电及抄表的需要，通常是简单地将市场上现有的商品化电能表集中在楼中的某处挂成一面“表墙”，当用户较多时，将给使用、维护和管理带来诸多不便。因此研制一种多

表位于一体的多功能又体积小得多用户电子式电能表具有重要的意义。

本文设计采用电能专用芯片来测量各用户的电能，单片机作为数据处理中心，将多个电子式测量元件集中在一台仪表内并公用一套微机电路、一套显示器和一个通信接口，显示器分时显示各用户的电能累计值，由多个用户共同承担智能化的投入，从而提高性价比，平均每户造价仅略高于传统感应式电能表。在确保电子电能表的测量精度和各项功能齐全的前提下，缩小了整机体积，使每户分摊的成本大大降低。随着大功率家用电器的逐渐增多，一方面应增大供电线路的容量，另一方面也应对电费实行分时计价，多用户电能表因带有实时时钟，所以实行分时计价相当容易。并且这种电能表能够通过低压电力线载波扩频通信接口组成远程自动抄表系统，便于供电部门对居民的用电情况进行实时抄收、数据汇总和监控，为电力部门进行现代化管理提供一种有效的手段，具有很好的推广应用前景。

1.5 本文的主要内容

由单用户电能表向多用户智能型电能表发展是用电计量发展史上一个质的飞跃，而远程抄表技术的实现是其最显著的特征。本文以高精度电能测量集成芯片 ADE7755 为基本测量单元，采用单片计算机作为中央处理器，对 13-24 户用户的用电量进行集中检测、计量、循环显示，通过通信接口将各用户用电量由抄表器采集后向外接计算机发送，由财务主机直接进行电费计算。避免了抄表工上下楼挨门逐户抄表的烦恼。本文主要内容如下：

1. 介绍电能表技术发展和应用的现状，对比分析各种电能表的测量原理和功能特点，提出智能多用户载波电电能表的总体设计方案。

2. 设计电能采集计量单元，分析 $\Sigma\text{-}\Delta$ 模数转换原理，介绍 ADE7755 的主要特性和工作原理，详细阐述了其输入电压、电流回路、功率输出电路的设计，并重点讨论分流器的设计原则、滤波电路、精度调整电路等影响计量精度的关键技术问题。

3. 设计智能处理单元，主控单片机的设计以 PIC16C65B 为核心，它是一个智能数据采集处理和控制单元。详细介绍数据采集、数据处理、实时时钟电路和显示驱动电路的设计。

4. 在分析低压电力线通信信道特性的基础上，设计基于 PL2101 芯片的载波通信接口及远程自动抄表系统。详细介绍耦合电路、输入滤波电路、输出功率放大电路的设计。

5. 多用户电能表软件设计。软件程序采用 PIC 系列汇编语言编制，

详细阐述包括脉冲检测及数据处理模块、通信中断模块、电表参数设置及电量显示模块，载波通信模块等的设计。为增强仪表的可靠性，软件方面也采取多种措施，如指令冗余、软件陷阱，增加软件容错功能等。

第 2 章 系统总体方案设计

多用户载波电能表系统以整栋公寓式居民楼的生活用电作为计量和监控对象，采用电能分开计量和数据集中处理的结构，并运用当今成熟的电子电路技术和性能优良的电子元器件构成。这种电能表结构紧凑、功能强大、可靠性高，并从根本上解决由传统的电能表简单拼凑而成的多用户用电计量系统。该表能实现多费率电价计算；用户可通过按键操作查询各自用电量及电费余额；各用户计量记录数据不会因停电而丢失；配有通讯接口可与上位机进行数据传输和组成自动抄表系统，便于供电部门对居民用电情况进行实时抄收、数据汇总和监控，为电力部门进行现代化管理提供了有效手段。

2.1 多用户载波电能表基本原理

多用户载波电能表与一般的电子式电能表不同，一般的单相电能表只能计量单户，而多用户电能表则能计量十几户，该表基本型可实现对最多 24 路用户的电能进行集中计量和监控，原理如图 2-1 所示。

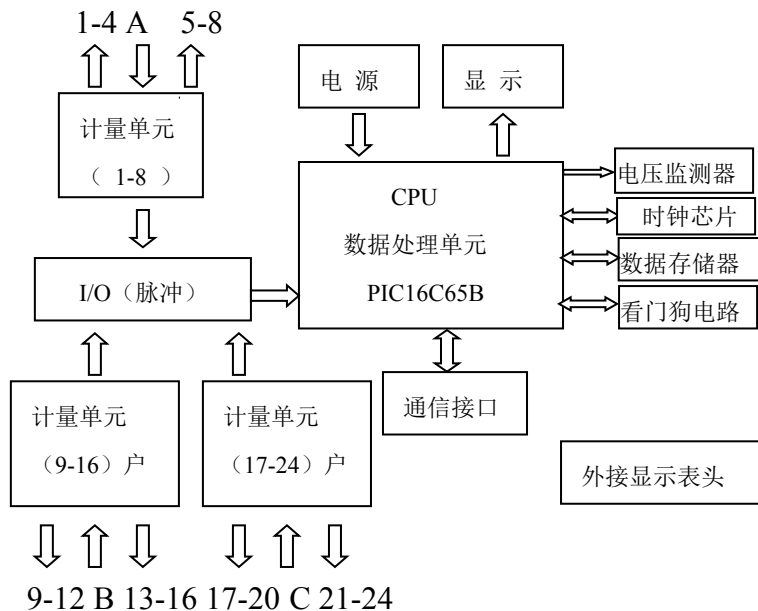


图 2-1 多用户电能表原理框图

Fig.2-1 Theory graph of multi-users electricity meters

仪表采用多只单用户计量单元（单台表最多 24 只）、数据处理单元、供电单元设计在同一结构中，对用户的用电实现集中计量（单费率或）、显示各用户用电状况及用电量（累计总用电量或尖、峰、谷、平累计用电量）、远程或物业小区抄表，实现用电管理现代化。单用户计量单元采用美国 Analog Devices Inc.公司生产的 ADE7755 电能计量专用芯片设计的低成本、单相、两线制、满足企标要求的高精度电能表。24 路用户分成三组，每组 8 路，分别接到不同的相线上。为了均衡三相负载的分布，也可对不同功率的用户进行组别调整。

用户负载上的电压被分压的 V_2 和流过负载的电流在与负载相串联的分流器上产生的电压 V_1 加在 AD7755 输入端，在其输出端产生的输出频率与加在 AD7755 输入端的两个输入电压信号 V_1 和 V_2 的有效值的乘积成正比。

代表用电量的输出电能脉冲经 I/O（脉冲）接口送给数据处理单元，分别累积计度、存储记忆、显示及串口输出（抄表）。并采取了“看门狗、软件陷阱、脉冲干扰抑制以及为防止掉电丢失数据而采用非易失性存储器等措施提高可靠性及抗干扰能力。

8 位 LED 显示公用，其中第一、二位为用户编号，后六位对应显示各用户当的用电累积量（最大显示为 99999.9kwh）。

仪表的原理框图中：A、B、C、三相或单相进线与用户接线盒；24 个单用户计量单元；数据处理单元；通信接口（红外通信接口或电力线载波接口），实现远程抄表或用手提电脑进行本地抄表；测试脉冲输出端提供对本表进行校验的测试脉冲；本机显示，在光照下，提供用户用电量的显示。外接显示，它提供以红外通讯方式的方法在红外通讯方式显示表头上显示各用户用电量。表头以红外通讯方式的设计目的是对用户查看自己的用电量提供方便。红外通讯方式显示表头的结构为防暴式，安装在配电箱的可以被用户观看和触摸的地方，因此，红外通讯方式显示表头一般在受到破坏时不会损坏，即使在受到极大的破坏而损坏时，也不会损坏到装在配电箱内部的多用户表。

2.2 多用户载波电能表技术指标

多用户静止式单相电能表所有机械性能和电气指标均应符合 GB/T 17215-1998 静止式交流有功电度表标准，（对应的国际标准为 IEC10361996），GB/T15284-1994 多费率(分时)电度表标准，DL/T 698-1999 低压电力用户集中抄表系统技术条件。

1. 环境条件

温度范围：-20℃ ~ +45℃；
 湿度范围： 45% ~ 75%RH；
 大气压力： 860 ~ 1060 kPa。

2. 基本参数

准确度等级：1 级、2 级，详情见表 2-1；
 额定电压：220V (Un)；
 额定电流：5A (Ib)；
 最大电流：20A、30A、40A (Imax)；
 额定频率：50Hz；
 电表常数：3200 imp/kWh；
 户数：8 户~24 户；
 费率规范：尖、峰、谷、平；
 时段设置：8 个时段、每个时段的时间最少不小于 30min；
 防潜动；
 平均无故障时间：≥ 20000h

表 2-1 准确度要求

Table 2-1 Accuracy requirements

电 流 值	功 率 因 数	百分比误差范围	
		1 级	2 级
$0.05I_b \leq I < 0.1I_b$	1	±1.5%	±2.5%
$0.1I_b \leq I \leq I_{max}$	1	±1.0%	±2.0%
$0.1I_b \leq I < 0.2I_b$	0.5	±1.5%	±2.5%
$0.1I_b \leq I < 0.2I_b$	0.8	±1.5%	—
$0.2I_b \leq I \leq I_{max}$	0.5	±1.0	±2.0%
$0.2I_b \leq I \leq I_{max}$	0.8	±1.0%	—

3. 基本功能

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；

时段控制功能：能实时显示日历和时间，并可根据需要和时间进行调校，电力负荷的尖、峰、平、谷时段及其费率可预置；

最大需量控制功能；

用户可查询用电数据，仅允许授权人更改设定参数；
具有通信接口可进行本地或远程自动抄表；
与小型断路器配合使用，能实现用户欠费时跳闸或过载自动保护。

4、基本结构要求

产品设计的主要出发点是以便于产品的生产、适于规模化生产、装配、调试、维修以及更换部件方便为前提的。整体结构设计采用积木式插接式装配具有极高的工艺性。仪表的机械性能分析主要是评估零部件的刚度、强度和抗振性能。仪表的底座采用 1mm 厚的钢板压制而成，表面采用塑料喷涂新工艺，因此其底座具有强度高、耐腐蚀的特点。端子盒采用的是将端子作为嵌件用酚醛树脂一次压铸而成，具有极高的密封性能、耐腐蚀和热稳定性。外壳和端子盒盖采用 ABS（加阻燃剂）塑料压铸件，因此有良好的抗振性能和韧性，不怕冲击。

2.3 本章小结

本章主要阐述多用户载波电能表的基本设计原理及其相关技术指标。

第 3 章 电能计量单元的设计

3.1 电子式电能表计量原理

电能表是专门用来计量电能的电表，其计量的结果是某段时间内通过负载电路的电能。计量单位是千瓦时(简称度)。

$$\text{负载的功率为: } P = VI \cos \varphi \quad (3-1)$$

$$\text{电能的计算: } G_{\Delta} = P\Delta T \quad (3-2)$$

式中 V 为交流工作电压有效值, I 为通过负载电路的交流电流有效值, φ 为电压与电流之间的相角, 它与负载的特性有关。

对于大多数电子式电能表, 测量电能的原理基本相同, 主要包括对电压和电流实时采样, 将采样得到的电压和电流相乘, 计算出有效值、有功功率、无功功率等。采样分直流和交流采样两种。与直流采样相比, 交流采样具有计算灵活, 精度高, 响应速率快等优点。电子式电能表结构图如图 3-1 所示。

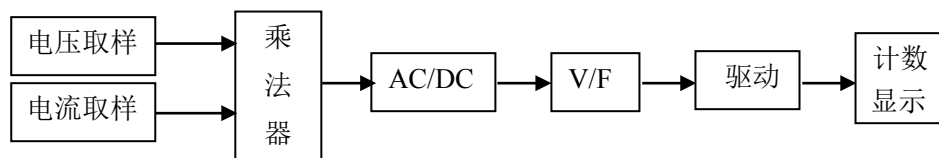


图 3-1 电子式电能表结构图

Fig.3-1 Electronic structure of the electricity meter

首先通过 V 取样与 I 取样电路检测出负载的电压值和电流值, 然后经过乘法器转换成功率数据($P=VI\cos\varphi$), 再经 V - F (电压与频率)转换器, 将功率模拟量转换成频率脉冲, 然后通过计数显示电路计量和显示用电额度^[1]。

3.2 ADE7755 芯片

电能计量芯片选用美国 ADI 公司推出的脉冲输出的高精度电功率测量集成电路 ADE7755。其内部集成了两个 2 阶 16 位的 Σ - Δ 模数转换器、电压基准和计量有功功率所需的数字信号处理电路^[1]。ADE7755

在低频输出端提供平均功率信息，在高频输出端输出与频率成正比有效功率的脉冲，AD7755 还具有自校准的功能，例如，通道的偏移校正，相位和功率的校准。因此，使用 AD7755 构成电表系统，电路十分简单。

3.2.1 ADE7755 的结构和特点

ADE7755 是一种高准确度电能测量集成电路，其技术指标超过 IEC1036 规定的准确度要求。ADE7755 只在 ADC 和基准源中使用模拟电路，所有其它信号处（如相乘和滤波）都使用数字电路，这使 ADE7755 在恶劣的环境条件下仍能保持极高的准确度和长期稳定性。

ADE7755 内部主要由电源监控电路、模/数转换电路、信号处理电路、基准电路、数字-频率转换电路、低通、高通滤波器电路和可编程增益放大器电路等组成，其功能部件见图 3-2。

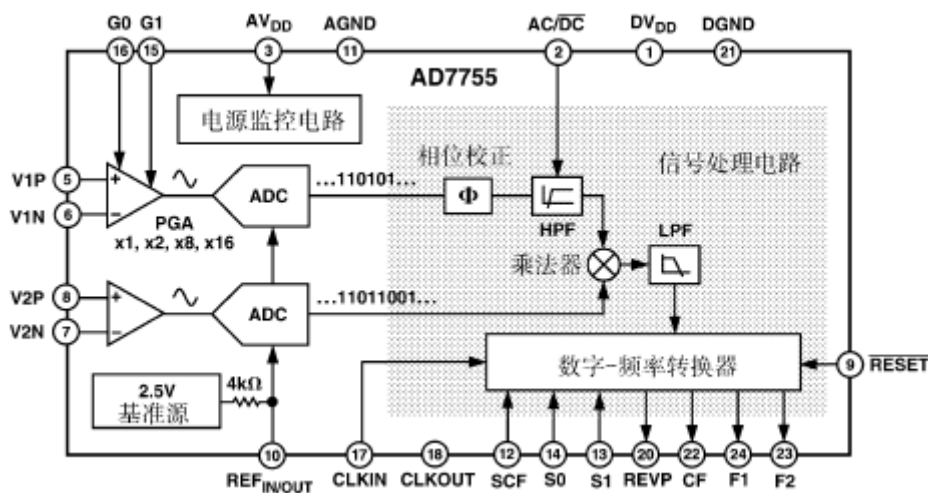


图 3-2 ADE7755 功能框图

Fig.3-2 Function graph of ADE7755

其中，相位补偿网络 Φ 和高通滤波器 HPF 组成的电路是保证测量精度的关键。因为 AD7755 用于交流功率测量时，引脚 AD/DC 置为 1，这时 HPF 被接入，用来消除电流通道中的直流分量，接入 HPF 的目的是消除模拟通道的直流失调电压引起的测量误差。但是，HPF 的相位特性会使通过电流通道的信号的相位产生变化，为了消除 HPF 相位特性引起的变化，AD7755 采用了相位补偿网络 Φ 来进行补偿。其相位补偿能力达 1kHz，这就保证了在低功率因数下对谐波功率计算的正确性。

计算出来的有功功率平均值从引脚 F1 和 F2 引脚以低频频率的方式输出，能直接驱动机电式计度器或与微控制器（MCU）接口。而有功功率瞬时值从引脚 CF 以较高的频率输出，可用于校验或与 MCU 接口。AD7755 内部包含一个对芯片电源引脚的监控电路，在电源端电压上升到 4V 之前，AD7755 一直保持在复位状态，此时，F1，F2 和 CF 都没有输出。

ADE7755 芯片受环境影响的跳变小，质量稳定性较高。其具有以下特点：

1. 具有片内看门狗定时器（Watch Dog Timer）与内部电源监视器；
2. 具有瞬时电流、瞬时电压、瞬时功率、电流有效值、电压有效值、功率有效值测量及电能计量功能；
3. 提供了外部复位引脚；
4. 双向串行接口与内部寄存器阵列可以方便地与微处理器相连接；
5. 外部时钟最高频率可达 20MHz；
6. 具有功率方向输出指示。

ADE7755 的主要技术指标如下：

1. 差分电压输入范围：150mV；
2. 温度系数：<60ppm/°C；
3. 功率消耗：<10mW；
4. 电能计量精度：在 300：1 动态范围以上每秒读取 0.1%；
5. 电压测量精度：读数的 0.1%；
6. 电流测量精度：读数的 0.1%；
7. 瞬时功率测量精度：读数的 0.1%。

3.2.2 ADE7755 的工作原理

ADE7755 把从通道 1(电流通道)和通道 2(电压通道)中进来的模拟信号，各自送到一个 16 位的过采样速率达 900kHz 的 Σ - Δ 模数转换器中进行模数转换，转换后的数字信号经过处理后直接相乘得到瞬时功率信号^[12]。

3.2.2.1 有功功率分量的获取 瞬时功率是由瞬时有功功率和瞬时无功功率组成，为了得到有功功率分量(即直流分量)，要对瞬时功率信号进行低通滤波处理，如图 3-3 所示。所有的信号处理都是由数字电路完成的，具有优良的温度和时间稳定性。

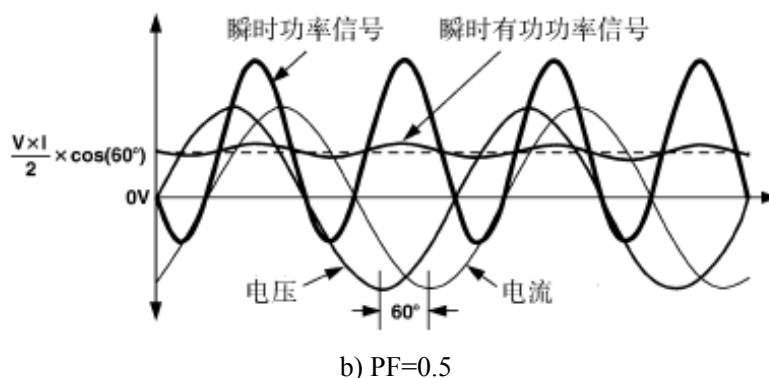


图 3-4 用瞬时功率信号的直流分量表示有功功率信息

Fig.3-4 Active power of information figured with instantaneous power signals in the DC component

ADE7755 不但能正确计算正弦电压和正弦电流的有功功率，而且还能计算非正弦电压和非正弦电流的有功功率。在实际应用中，所有电压和电流波形都会含有一定的谐波成分。数学上已经证明：当电压和电流波形是非正弦时，可以通过傅立叶分解表达成它们谐波分量之和：

$$v(t) = v_0 + \sqrt{2} \times \sum_{h \neq 0}^{\infty} v_h \times \sin(h\omega t + \alpha h) \quad (3-4)$$

$$i(t) = i_0 + \sqrt{2} \times \sum_{h \neq 0}^{\infty} i_h \times \sin(h\omega t + \beta h) \quad (3-5)$$

式(2-4)中， $v(t)$ 是瞬时电压， v_0 是电压平均值， v_h 是 h 次电压谐波的有效值， αh 是 h 次电压谐波的相位角。

式(2-5)中， $i(t)$ 是瞬时电流， i_0 是电流平均值， i_h 是 h 次电流谐波的有效值， βh 是 h 次电流谐波的相位角。根据理论分析，有功功率 P 可以用电压和电流的基波有功功率 P_1 和谐波有功功率 P_h 之和表达。

$$P = P_1 + P_h \quad (3-6)$$

$$P_1 = V_1 \times I_1 \times \cos f_1 \quad (f_1 = \alpha_1 - \beta_1) \quad (3-7)$$

$$P_h = \sum_{h=0}^{\infty} V_h \times I_h \times \cos f_h \quad (f_h = \alpha_h - \beta_h) \quad (3-8)$$

其中 f 是电压和电流的相位差。

由式(3-7)和(3-8)可以看出，电压和电流的各次谐波都产生谐波有功功率，

因为 ADE7755 对纯正弦波的功率因数和有功功率的计算是精确的，而谐波是由一系列纯正弦波组成，所以，ADE7755 对谐波功率因数和谐波有功功率的计算也是精确的。利用上述测量原理设计的 ADE7755，从测量的机理上已经充分考虑了电网谐波的存在和影响因素。因此，利用它制作的系统的测量精度和抗干扰能力将大大提高。

3.2.2.2 通道 V1（电流通道） 线路电流传感器的输出电压接到 ADE7755 的通道 V1，该通道采用完全差动输入，V1P 为正输入端，V1N 为负输入端。

通道 1 的最大差动峰值电压应小于 $470mV$ (纯正弦电压有效值 $330mV$)。通道 1 有一个 PGA，其增益可由用户选择为 1, 2, 8 或 16（见表 3-1），这使传感器接口的设计大为简单。

表 3-1 通道 1 的增益选择

Table 3-1 Gain selection of channel 1

G1	G0	增益	最大差动信号
0	0	1	$\pm 470mV$
0	1	2	$\pm 235mV$
1	0	8	$\pm 60mV$
1	1	16	$\pm 30mV$

3.2.2.3 通道 V2（电压通道） 线路电压传感器的输出接到 ADE7755 的通道 V2，该通道的最大差动峰值电压为 $\pm 660mV$ ，图 3-5 表示允许连接到 ADE7755 通道 2 的最大信号电平。

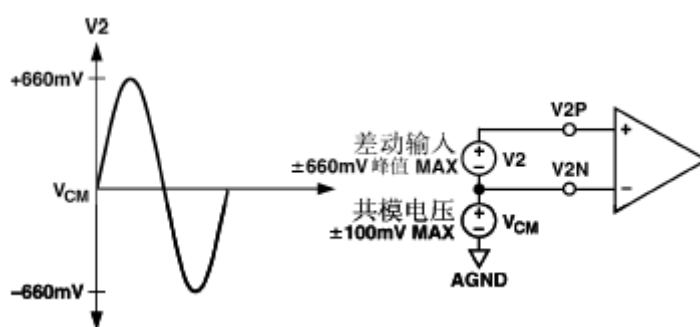


图 3-5 通道 2 的最大信号电平

Fig.3-5 The biggest signal of channel 2

加在通道 2 上的差动电压信号必须以一个共模端作为参考点（通常是

AGND), 最大共模电压为 100mV。当共模电压为 0V 时能获得最好的测量结果。

3.2.2.4 电源监控电路 ADE7755 片内的电源监控电路能连续对模拟电压 (AV_{DD}) 进行监控。当电源电压低于 $4V \pm 5\%$ 时, ADE7755 将被复位。这对于确保上电和掉电时芯片的正确启动和正常工作是有用的。电源监控电路被安排在延时和滤波环节中, 这在最大程度上防止了由电源噪声引发的错误。

3.2.2.5 高通滤波电路 通道 1 和通道 2 的失调信号相乘后将产生一个直流分量。由于这个直流分量要通过低通滤波器 (LPF) 产生有功功率, 因此失调将对有功功率产生一个固定的误差如式 3-9。

$$\begin{aligned} & [V \cos(\omega t) + V_{os}] \times [I \cos(\omega t) + I_{os}] \\ & = (V \times I) / 2 + V_{os} \times I_{os} + V_{os} \times I \cos(\omega t) + I_{os} V \cos(\omega t) + (V \times I) / 2 \times \cos(2\omega t) \end{aligned} \quad (3-9)$$

因此在通道 1 中设置高通滤波器 (HPF), 至少一个通道的失调被消除后, 相乘就不会产生直流误差分量。对于含有 $\cos(\omega t)$ 的误差项通过 LPF 和数字-频率转换器消除。

3.2.2.6 数字-频率转换 相乘后低通滤波器的数字输出包含有功功率信息。由于这个 LPF 不是理想滤波器, 因此输出信号仍含有经衰减的线路基波和谐波频率成分, 即 $\cos(h\omega t)$, 其中 $h=1,2,3,\dots$ 。

该滤波器的幅频响应特性为式 3-10。

$$|H(f)| = 1 / (1 + f / 8.9\text{Hz}) \quad (3-10)$$

在线路频率为 50Hz 的情况下, 对 2ω (100Hz) 成分的衰减大约为 -22dB, 这是两倍于线路频率的主谐波, 即 $\cos(2\omega t)$, 这是由瞬时有功功率引起的。这个信号通过数字-频率转换器, 随时间被积分 (累加), 进而产生输出频率。这种累加起到平均作用, 将抑制了瞬时有功功率信号中的非直流成分, 正弦信号的平均值等于零。因此, ADE7755 产生的频率与平均有功功率成正比。在稳定负载 (即恒定电压和电流) 条件下的数字-频率转换如图 3-6 所示。

从图 3-6 可见, 即使在稳定负载条件下 CF 输出频率仍随时间变化, 这种频率的变化主要是由瞬时有功功率信号中的 $\cos(2\omega t)$ 成分引起的。CF 输出频率能高达 F1 和 F2 输出频率的 2048 倍。CF 能以较高的频率输出, 是因为在对瞬时有功功率进行累加完成频率转换的过程中, 采用了较短的累加时间。较短的累加时间意味着减弱了对 $\cos(2\omega t)$

)的平均作用, 于是部分瞬时功率信号成分通过了数字-频率转换器, 但这在实际应用中不成为问题。当 CF 用于校验时, CF 输出频率还应该用频率计度器进一步平均, 以消除纹波。如果 CF 用于带微处理器的电能计量场合, CF 也应该进行平均后再计算功率。F1 和 F2 以很低的频率输出, 对瞬时有功功率已有足够的平均作用, 因此大大衰减了正弦成分, 获得几乎无纹波的输出。

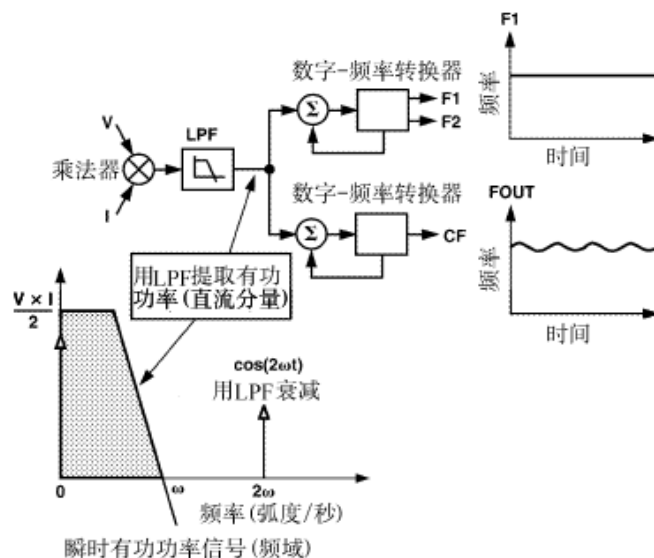


图 3-6 有功功率到频率的转换

Fig.3-6 Conversion from active power to the frequency

3.2.3 ADE7755 引脚排列及功能

ADE7755 有 24 脚双列直插(DIP)和表面贴装(SSOP)两种封装形式, 其引脚排列见图 3-7, 引脚功能见表 3-2。

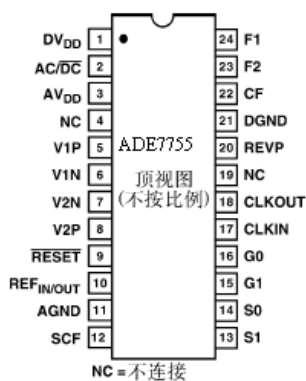


图 3-7 ADE7755 管脚图

Fig.3-7 Pins of ADE7755

表 3-2 引脚功能说明

Table 3-2 Pin Help

引脚号	符号	说明
1	DV _{DD}	数字电源引脚。该引脚提供 AD7755 数字电路的电源，正常工作电源电压应保持在 5V±5%，该引脚应使用 10μF 电容并联 100nF 瓷介电容进行去耦。
2	AC/DC	高通滤波器 HPF 选择引脚。当该引脚输入高电平时，通道 1(电流通道)内的 HPF 被选通，该滤波器所涉及的相应响应在 45Hz 至 1KHz 范围内在片内已得到补偿。在电能计量的应用中，应使 HPF 选通。
3	AV _{DD}	模拟电源引脚。该引脚提供 AD7755 模拟电路的电源。正常工作电源电压应保持在 5V±5%，为使电源的纹波和噪声减少到最低程度，该引脚应使用 10μF 电容并联 100nF 瓷介电容进行去耦。
4,19	NC	不连接。
5,6	VIP, VIN	通道 1（电流通道）的正、负模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大信号电平为±470mV。通道 1 有一个 PGA，其增益选择见表 1。这两个引脚相对于 AGND 的最大信号电平为±1V。两个引脚内部都有 ESD 保护电路，这两个引脚能承受±6V 的过电压，而不造成永久性损坏。
7,8	V2N,V2P	通道 2（电压）的负、正模拟输入引脚。完全差动输入方式，正常工作最大输入电压为±660mV,相对于 AGND 的最大信号电平为±1V. 两个引脚内部都有 ESD 保护电路，这两个引脚能承受±6V 的过电压，而不造成永久性损坏。
9	RESET	复位引脚。当为低电平时，ADC 和数字电路保持复位状态，在 RESET 的下降沿，清除 AD7755 内部寄存器。
10	REF _{IN/OUT}	基准电压的输入、输出引脚。片内基准电压标称值为 2.5V±8%,典型温度系数为 30ppm/°C.外部基准源可以直接连接到该引脚上。无论用内部还是外部基准源，该引脚都应使用 10μF 钽电容和 100nF 瓷介电容对 AGND 进行去耦。
11	AGND	这是 AD7755 模拟电路（即 ADC 和基准源）的接地参考点，该引脚应连接到印刷电路板的模拟接地面。模拟接地面是所有模拟电路的接地参考点，如抗混叠滤波器、电流和电压传感器等。为了有效地抑制噪声，模拟接地面与数字接地面只应有一点连接。星形接地方法有助于使数字电流噪声远离模拟电路。
12	SCF	校验频率选择。该引脚的逻辑输入电平确定 CF 引脚的输出频率，如何选择校验频率见表 IV。
13,14	S1,S0	这两个引脚的逻辑输入用来选择数字/频率转换系数，这为电度表的设计提供了很大灵活性，详见为电度表应用选择频率部分。
15,16	G1,G0	这两个引脚的逻辑输入用来选择通道 1 的增益。可能的增益是 1, 2, 8 和 16，详见模拟输入部分。
17	CLKIN	外部时钟可从该引脚接入，也可把一个石英晶体接在 CLKIN 和 CLKOUT 之间，为 AD7755 提供时钟源，规定时钟频率为

		3.579545MHz。作为石英晶体负载的 33pF 瓷介电容应和振荡器门电路连接。
18	CLKOUT	如上所述，可把一个石英晶体接在 CLKIN 和 CLKOUT 之间，为 AD7755 提供时钟源。当 CLKIN 上接有外时钟时 CLKOUT 引脚能驱动一个 CMOS 负载。
20	REVP	当检测到负功率时，即电压和电流信号的相位差大于 90° 时，该引脚输出逻辑高电平。该输出没有被锁存，当再次检测到正功率时，该引脚的输出复位。该输出的逻辑状态随 CF 输出脉冲同时变化。
21	DGND	这是 AD7755 数字电路（即乘法器、滤波器和数字频率转换器）的接地参考点。该引脚应连接到印刷电路板的数字接地面（此处原文有误—译者注），数字接地面是所有数字电路（如机械或数字计度器、微控制器和 LED 显示器）的接地参考点。为了有效地抑制噪声，模拟接地面与数字接地面只应有一点连接，如星形接地。
22	CF	频率校验输出引脚。其输出频率反映瞬时有功功率的大小，常用于仪表检验。
23,24	F2,F1	低频率逻辑输出引脚，其输出频率反映平均有功功率的大小。这两个逻辑输出可以直接驱动机电式计度器或两相步进电机。

3.2.4 ADE7755 工作特性设定

ADE7755 的工作特性(如输入输出特性)除了和主时钟频率有关外，还和一些引脚的电平有关，如输入通道 1 和数字-频率转换器都可有相应的引脚来设定其工作参数。主时钟频率范围为 1-4MHz，典型值为 3.57945MHz，现以该值为工作频率来设定有关工作参数。

3.2.4.1 模拟输入通道 电流通道(通道 1)：电流传感器的输出电压接到这个通道。电流通道是全差分电压输入，输入端的差分电压必须以一个共模电压为基准(常取 AGND)，最大共模信号为 $\pm 100mV$ ，该通道有可编程增益放大器(PGA)，其 V1P 和 V1N 上最大差分电压与所选增益有关，可通过 G1，GO 来选择增益，如表 3-1 所示。

电压通道(通道 2)：电压传感器的输出接到这个模拟输入端。电压通道是全差分电压输入，输入端的差分电压必须以一个共模电压为基准，常用 AGND，最大共模信号为 $\pm 100mV$ ，最大差分电压为 $\pm 660mV$ 。

3.2.4.2 数字频率转换器

电压和电流相乘以后经低通滤波的数字输出包括实际功率信息，但由于低通滤波器不可能是一个理想的滤波器，输出信号中还包含了线路频率和谐波的衰减成分。低频输出端 F1、F2 和 高频输出端 CF 都是对这个信号的积分累加，区别在于一个时间较长，一个时间较短，所以一个反映平均功率，一个反映即时功率。数字-频率转换器输出的最大频率可由相应的频率因子 F_{1-4} 来确定， F_{1-4} 可由相应的引脚电平来选择，表 3-3 为选择列表。 F_{1-4} 确定后，F1、F2 端输出频率是输入电压信号的函数，输出频率由式 3-11 给出。

$$F=8.06 \times V_1 \times V_2 \times G \times F_{1-4} / V_{REF}^2 \quad (3-11)$$

11)

式中：F—引脚 F₁，F₂ 输出的脉冲频率 (Hz)；

V₁—通道 1 差动输入电压有效值 (V)；

V₂—通道 2 差动输入电压有效值 (V)；

G—1、2、8、16，取决于 PGA 的增益，由 G₀ 和 G₁ 的逻辑输入确定；

V_{REF}—基准电压 (2.5V±8%) (V)；

F₁₋₄—由主时钟 CLKIN 分频获得，分频系数由 S₀ 和 S₁ 确定。

用户负载上的电压被分压的 V₂ 和流过负载的电流在与负载相串联的分流器上产生的电压 V₁ 加在 AD7755 输入端，在其输出端产生的输出频率与加在 AD7755 输入端的两个输入电压信号 V₁ 和 V₂ 的有效值的乘积成正比。

根据频率计算公式 3-11，取表 3-3 列出的 F₁₋₄ 值，可得出满量程直流输入和交流输入时的最大输出频率，如表 3-4 所示，交流输入的最高输出频率总是直流输入的一半。

表 3-3 F₁₋₄ 的频率选择 (CLKIN=3.579MHz)

Table 3-3 Frequency selection of F₁₋₄ (CLKIN=3.579MHz)

S ₁	S ₀	F ₁₋₄ (Hz)	分频系数
0	0	1.7	2 ²¹
0	1	3.4	2 ²⁰
1	0	6.8	2 ¹⁹
1	1	13.6	2 ¹⁸

表 3-4 F1 和 F2 的最高输出频率

Table 3-4 The maximum output frequency of F1 and F2

S1	S0	最高输出频率(Hz)	
		直流输入	交流输入

0	0	0.68	0.34
0	1	1.36	0.68
1	0	2.72	1.36

1	1	5.44	2.72
---	---	------	------

脉冲输出的 CF 端主要用于仪表校验。CF 端输出的脉冲频率可高达 F1 和 F2 的输出脉冲频率的 2048 倍。F₁₋₄ 频率选得频率越低，CF 的倍率越高（高频方式 SCF=0,S1=S0=1 情况除外）。表 3-5 给出了两者之间的关系，它们取决于逻辑输入 S0, S1 和 SCF 的状态。因为 CF 的输出频率比较高，因此它与瞬时有功功率成正比。

表 3-5 CF 的最高输出频率（交流信号）

Table 3-5 The maximum output frequency of CF

SCF	S1	S0	F ₁₋₄ (Hz)	CF 的最高输出频率(Hz)
1	0	0	1.7	128×F1,F2=43.52
0	0	0	1.7	64×F1,F2=21.76
1	0	1	3.4	64×F1,F2=43.52
0	0	1	3.4	32×F1,F2=21.76
1	1	0	6.8	32×F1,F2=43.52
0	1	0	6.8	16×F1,F2=21.76
1	1	1	13.6	16×F1,F2=43.52
0	1	1	13.6	2048×F1,F2=5570

3.3 基于 ADE7755 电能计量模块的设计

3.3.1 分流器的设计

为了使通道 v1(电流通道)的动态范围最大，分流器选为 350μΩ，在为电表选择分流器时，有几点要重要考虑。

1. 要使分流器功耗最低。由于本设计方案的额定最大电流为 40A，所以分流器的最大功耗为(40 A) 2X350μΩ= 560 mW。而国标 G317215/T-1998 要求最大功耗为 2W。

2. 如果功耗高会给芯片散热带来困难。虽然分流器采用的材料为锰铜合金(温度系数低)制成，但在高温、重载的情况下会使精度超差，所以不能选用太大的阻值。

3. 应考虑电表对相电压短路造成损害具有的防护力。如果分流器的阻值非常大，则外部短路对分流器的影响也非常小。因此分流器应该尽量小，但这样必然抵消通道 v

1 的信号范围。如果分流器做得太小，在轻负载的情况下又不能符合国标精度要求。因此权衡利弊将分流器的阻值选为 $350\mu\Omega$ 更为合适。

考虑到实际电网电压存在波动和负载电流可能超载，设计电能表时，两个模拟通道的输入电压一般都留有足够的超量程余地。比如，取允许的最大值的一半。

3.3.2 单用户计量单元的电压通道参数设计

相电压=220V（参比电压值）；

最大电流 $I_{max}=40A$ ，基本电流 $I_b=5A$ ；

动态范围为 400（规定准确度的电流范围为 $2\%I_b-I_{max}$ 即 $100mA-40A$ ）；

仪表常数=3200imp/kWh；

脉冲采集（计度器）=100imp/kWh；

分流器的阻值= $350\mu\Omega$ ；

计度器的电表常数 C 为 100imp/kWh，即 ADE7755 发 100 个脉冲，计度器记录 1kWh 电；

在 $I_b=5A$ 时线路的功耗为 $P=220V \times 5A=1.1kW$ ；

乘以电表常数得 I_b 情况下的输出频率：

$$f_{F1}=P \times C=1.1 \times 100/3600=0.03055555\text{Hz}；$$

在 I_b 条件下分流器两端电压（V）= $5A \times 350\mu\Omega=1.75mV$ ；

从最大电流 $I_{max}=40A$ 和留有余量查 AD7755 数据表，选择 $F_{1.4}=3.4\text{Hz}$ ；

按照公式（2-11）：

$$0.03055555\text{Hz}=(8.06 \times 1.75mV \times V_2 \times 16 \times 3.4\text{Hz})/2.5^2$$

计算出： $V_2=248.9mV_{rms}$

因此只要将该表线电压衰减到 248.9mV，就可以保证其精度。

3.3.3 单用户计量单元调整网络设计

通过相电压的衰减到 248.9mV 的方法可以实现对单用户计量单元的准确度的简单调整。在本设计中采用了图 3-8 的调整衰减网络，实现了对单用户计量单元的准确度的调整。调整衰减网络是由简单的电阻分压器构成的。为准许分流器的容差和片内基准源 $\pm 8\%$ 的误差，该衰减网络应允许至少有 $\pm 30\%$ 的调整范围。电阻串并组合修调方便、快捷、成本又低，比可调电阻器修调稳定性好，可靠性高。

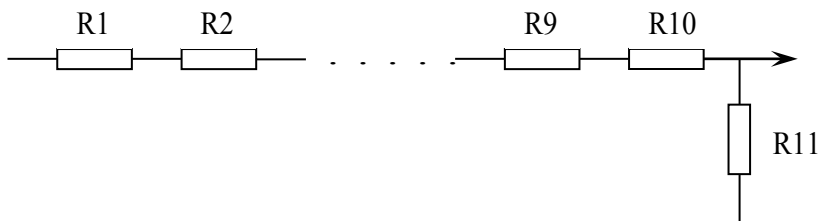


图 3-8 调整衰减网络

Fig.3-8 Adjustment of attenuation network

单用户电能计量单元的原理如图 3-9 所示。

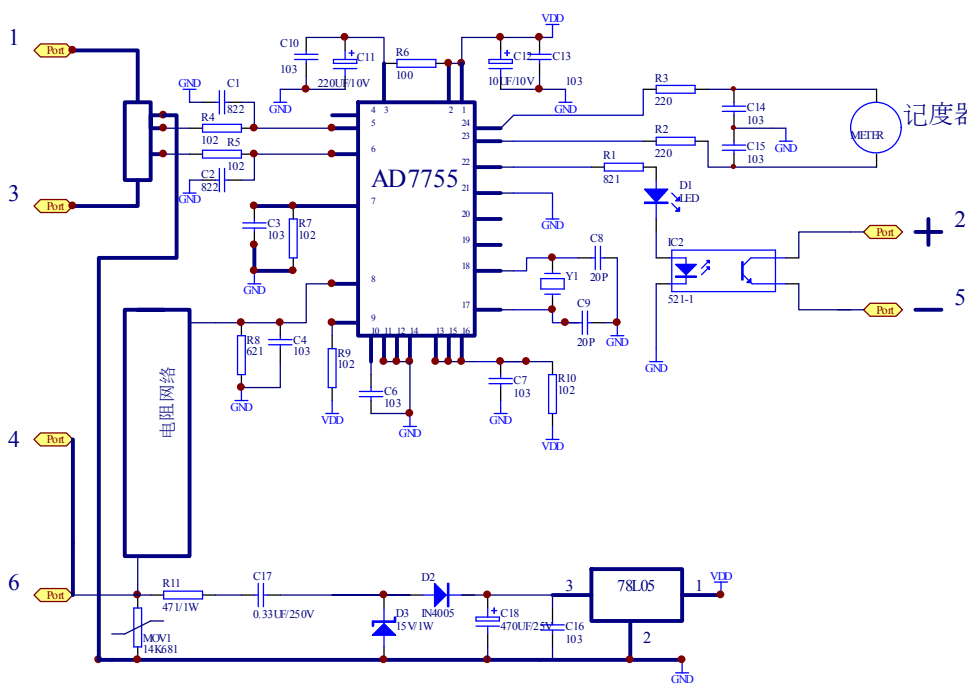


图 3-9 AD7755 芯片设计的单用户计量单元原理线路图

Fig.3-9 Principle route map for unit measurement of Single-user with AD7755

3.3.4 抗电磁干扰设计

按企标的要求仪表应能防止传导、辐射和静电三种形式的电磁干扰不损坏或实质性影响仪表。所有的预防措施和设计方法如：铁氧体、电容器、脉冲群抵御器及大体积的表面贴装（SMD）电阻器、印制板（PCB）的布局和接地问题，对每种形式的电磁干扰都有一定防护作用。但有些措施（如铁氧体）仅对某种电磁干扰（如射频和 EFT）起主要作用。

1. 静电放电（ESD）防护设计 电子元器件对剧烈的静电放电（ESD）是没有保护能力的。而 ESD 的作用是累计的，即电子元器件对多次的 ESD 的作用是难以保证经受得住的。为了不必接入过多的外部保护器件，尽量让电路中已经接入的元器件起到双重作用。如：

在 AD7755 与分流器的连接点插入铁氧体和由 RC 构成的抗混叠滤波器（其中 R 选用 1/2W SMD 2010 电阻器）；

在单用户计量单元的电源产生的放电被铁氧体和电源滤波电容器（C16）和整流二极管（D2 D3）吸收；

PCB 板的元件面制作火花隙（spark gap）来捕获 ESD 作用；

采用大功率瞬变二极管和金属氧化物压敏电阻器。

2. 高频电磁场（RF）防护设计 集成电路（IC）对射频（RF）的敏感度比较明显范围在 20~200MHz 内。但由于 PCB 的谐振作用，对某些频率比较敏感。并因此而对敏感元器件产生干扰。大量的 RF 信号都是经过电缆进入单用户计量单元的，所以读连接点必须采取防护设计的措施。

减小电路带宽：为减少 RF 进入单用户计量单元，在 AD7755 与分流器的连接点插入铁氧体和由 RC 构成的低通滤波器（即抗混叠滤波器）；

隔离敏感元件：为提供电源和电压通道（V2），单用户计量单元要接到相线和中性线。铁氧体和电源滤波电容（C16）应对电源的辐射有明显的衰减作用。而单用户计量单元的信号地是 RF 影响的可能途径。为此，隔离 AD7755 周围的信号地与外部接地参考点是一个方法。

3. 快速瞬变脉冲群（EFT）防护设计 应当指出快速瞬变脉冲群（EFT）防护是非常困难的。因为，它们是经过电源导线以共模或串模进入单用户计量单元的，造成干扰的主要因素可能不是其幅（4kV），而是其快速上升时间决定的高频成份。上面章节的措施对防护快速瞬变脉冲群（EFT）的影响不是很有效的。解决的途径是将数字地与模拟地分割开，在电源入口点切入铁氧体和对参考点加金属氧化物压敏电阻器。

3.4 本章小结

本章设计电能采集计量单元，介绍 ADE7755 的主要特性和工作原理，

详细阐述了其输入电压、电流回路、功率输出电路的设计，并重点讨论分流器的设计原则、滤波电路、精度调整电路等影响计量精度的关键技术问题。

第 4 章 智能处理单元设计

智能处理单元以单片机为核心，配合各种扩展电路(如 RAM，IO，键盘、显示、地址译码和通信接口等)来实现多种数据处理任务。

每个用户的电能测量由各自独立的电压、电流取样网络和电能计量专用芯片来完成，输出与瞬时有功功率成正比的电能脉冲用于计量和校表。数据处理由 PIC16C65B 单片机和其扩展电路来完成，它将所有 24 户的电能计量脉冲通过循环查询的方式来检测，同时还实现计数、分时累加、储存、对外传输和监控用户用电等处理任务，并可通过低压电力线载波通信接口组成远程自动抄表系统。

4.1 PIC 系列单片机简介

本电能表的控制和运算处理芯片采用 PIC16C65B 单片机，其主要功能是接收用电量信息，并对其进行相应的处理，然后存储、显示和对外输出处理结果。由于本系统的输入输出接口数量较多，需配备扩展电路才能满足系统对各种资源的要求。

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 系列 8 位微控制器是首先采用 RISC（精简指令集）结构的高性能嵌入式微控制器。它具有高速度、低工作电压、低功耗、强大驱动能力、低价格和 OTP 技术等都体现了单片机工业的新趋势^[1]。现在 PIC 系列单片机在世界单片机市场的份额排名中已逐年升位，尤其在 8 位单片机市场，已从 1990 年的第 20 位上升到目前的第二位^[13]。PIC 单片机从覆盖市场出发，已有三种(又称三层次)系列多种型号的产品问世，所以 PIC 系列单片机在从计算机外设、家电控制、电讯通信、智能仪器到汽车电子、金融电子等各个领域均获得了非常广泛的应用，是世界上最有影响力的嵌入式微控制器之一。

4.1.1 PIC 系列微控制器硬件结构特点

1. 类-精简指令集计算机结构 Microchip 公司具有先进的类-RISC（Reduced Instruction Set Computer-like）结构的 PIC 系列微控制器的简洁性，采用小型机设计结构。先进的类-RISC 结构体现在每一条高效率和功能强大的指令上。三个系列微控制器的指令都是单字的宽字位指令：

低档、中档和高档系列的指令位数分别为 12 位、14 位和 16 位，且分别只有 33、35 和 58 条指令，其指令系统除了程序分支指令是单字节双周期指令外，其他指令都是单周期、单字节指令，在这些指令中，没有功能相交叉的指令，使所有的指令具有简洁性；而一般 CISC(Complex Instruction Set Computer)结构的微控制器通常有 50 到 110 条多字节多周期的指令。单字节单周期指令提高了软件编码的效率和减少了所需要的程序存储器单元，使系统具有最高处理效率和突出性能，变成任务和调试任务相对比较容易。在相同情况下，PIC 微控制器所需要的编码比一般微控制器要少一半，其指令的高效率又使编码开发时间节约 30%。

2. 哈佛双总线结构 其存储结构是基于哈佛 (Harvard) 双总线概念，数据和指令传输总线完全分开以避免出现典型普通 CISC 设计中经常出现的处理瓶颈问题^[4]。传统的冯·诺依曼结构的计算机是在同一个存储空间取指令和数据，两者不能同时进行，故限制了工作带宽。而在哈佛结构的计算机中，指令和数据空间是完全分开的。由于可以对程序和数据同时进行访问，所以提高了数据吞吐能力。正因为 PIC 系列微控制器采用了哈佛双总线结构，所以它的程序总线 and 数据总线可以采用不同的宽度，数据总线都是 8 位，但低档、中档和高档系列的指令总线分别为 12 位、14 位和 16 位。这样，取指令时就经过指令总线，取数据时就经过数据总线，互不冲突。而且两种动作可以同时执行，大大节省了时间。

3. 两级指令流水线结构 PIC 系列微控制器中取指和执行采用两级指令流水线结构，当第一条指令被取出后，随即就进入了指令执行阶段，这时可能需要从某寄存器取数据而送至另一寄存器，或从一个端口向寄存器传送数据等，由于数据不会流经程序总线，而只是在数据总线中来回流动。因此，在这段时间内，程序总线处于空闲状态，可以同时取出第二条指令。当第一条指令执行完毕，就可立即执行第二条指令，节省了取指令的时间，同时取出第 3 条指令，如此等等。这样，除了第一条指令的取出之外，其余各条指令的执行和下一条指令的取出是同时进行的。这样在每个时钟周期内可以获得最高效率。在大多数微控制器中，取指令和指令执行都是顺序依次进行的，但在 PIC 系列单片机的指令流水线结构中，取指令和执行指令在时间上是相互重叠的，所以 PIC 系列单片机可实现单周期指令。只有涉及到改变程序计数器 PC 值的程序分支指令，例如 GOTO、CALL 或对 PC 写操作等，才需要两个周期。

4. 寄存器组 PIC 系列微控制器所有的寄存器，包括 I/O 口、定时器和程序计数器等都采用 RAM 结构形式，而且都只需要一个周期就可以完成访问和

操作。而大多数其他微控制器

都需要二个或两个以上的周期才能改变寄存器的内容。

5. 一次性编程 OTP 技术 PIC 系列微控制器市场份额不断增高的一个因素就是其推出低价位的一次性编程 OTP(One Time Program)芯片。低价格的 OTP 芯片在价格方面已经接近于掩膜 POM 芯片的价格,但是它具有的适于小批量试制和生产的灵活性是掩膜 POM 所不具有的。这种 OTP 芯片给用户带来的好处归纳有如下几点:①快速进入市场;②便于修改编码;③对最终用户可以提供最佳的解决方案;④减少生产厂家的剩余积压;⑤减少生产厂家的库存周转量。

6. 保密性好 PIC 系列单片机还具有彻底的保密性。PIC 系列单片机以保密熔丝来保护代码,用户在烧入代码后熔断熔丝,别人再也无法读出,除非恢复熔丝。目前, PIC 单片机采用熔丝深埋工艺,恢复熔丝的可能性极小。

4.1.2 PIC16C65 单片机性能特点

PIC16C65 是高性能 RISC 结构的 CPU 内含 $4K \times 14$ 位的程序存储器和 192 字节的 RAM。它具有精简指令集,仅 35 条单字节指令,易学易用;除 GOTO、CALL 为双周期指令,其余均为单周期指令;执行速度 $DC \sim 200ns$;多种硬件中断和八级硬件堆栈;直接、间接、相对寻址方式;它有 33 个双向可独立编程设置的 I/O 口,每个 I/O 口引脚的拉电流(最大)为 20mA;灌电流(最大)为 25mA,可直接驱动数码管 LED;8 位定时器/计数器 TMR0、带 8 位预分频;8 位定时器/计数器 TMR2、带 8 位的周期寄存器及预分频和后分频器;16 位定时器/计数器 TMR1,睡眠中仍可计数;并行口操作和同步串行口 I²C/SPI 总线操作等^[15]。

微控制和 CMOS 工艺特性:内置上电复位电路(POR);上电定时器和振荡定时器以保证工作电压稳定和振荡稳定;断电复位锁定功能以保证电源电压变化恢复正常后,芯片恢复运行工作;内置自振式 RC 振荡看门狗;程序保密位,可防止程序代码的非法拷贝;四种可选振荡方式(RC、XT、HS、LP);低功耗 $<2mA/5V$,小于 $1\mu A$ 的 Sleep 模式(4MHz 时);全静态设计;宽工作电压 $2V \sim 6V$;宽工作温度范围等。

由于 PIC16C65 在一个芯片内集成了众多的功能模块并具备优秀微处理器特性和 CMOS 工艺特性,因此它可以减少外部器件,对于像电能表这样常年通电运行,对可靠性要求极高的产品,本芯片是一个较好的选择。

4.1.3 PIC16C65 引脚功能

PIC16C65 单片机有四种不同的封装形式：PDIP 封装、PLCC 封装、SOIC 封装和 MQFP 封装^[6]。不同的封装形式对应引脚的功能也不一样，PDIP 封装的 PIC 16C65 有 40 个引脚，它的引脚及其功能如表 4-1 所示：

表 4-1 PIC16C65 引脚及其功能

Table 4-1 Pin and function of PIC16C65

引脚名	引脚号	缓冲器类型	功 能
MCLR/V _{PP}	1	ST	芯片复位/编程电压输入，复位低电平有效
RA0~RA3	2~5	TTL	这是一个可位控的双向 I/O 口
RA4/TOCK1	6	ST	可作 TMRO 外部时钟输入，输出是开集电极电路
RA5/SS	7	TTL	可作为同步串行口的从芯片选择输入端
RE0/RD	8	ST/TTL	可作为并行从动端口的读控制线
RE1/WR	9	ST/TTL	作并行从动端口的写控制线
RE2/CS	10	ST/TTL	作并行从动端口的片选线
V _{DD}	11,32		电源正极
V _{SS}	12,31		接地
OSC1/CLKIN	13	ST/CMOS	振荡器输入/外部时钟输入
OSC2/CLKOUT	14		振荡器输出
RC0/T1OSO	15	ST	可作 TMR1 振荡输出/TMR1 时钟输入
RC1/T1OSI	16	ST	可作 TMR1 振荡输入/捕捉器 2 输入/比较器 2 输出/PWM2 输出
RC2/CCP1	17	ST	作捕捉器 1 输入/比较器 1 输出/PWM1 输出
RC3/SCK/SCL	18	ST	可作 SPI/I ² C 的同步串行时钟输入/输出
RC4/SDI/SDA	23	ST	可作 SPI 通讯数据输入线/I ² C 数据 I/O
RC5/SDO	24	ST	可作 SPI 数据输出线
RC6/TX/CK	25	ST	可作异步发送/SCI 同步时钟
RC7/RX/DT	26	ST	可作异步接收/SCI 同步数据线
RD0~RD7 PSP0~PSP7	19~22 27~30	ST/TTL	可作双向 I/O 端口,亦可作并行从动端口
RB0/INT	33	ST/TTL	作为外部中断信号输入
RB1~RB7	34~40	TTL	I/O 口

4.2 数据存储芯片 FM24C256

作为计量仪器，电能表的精度不仅与计量芯片的精度有关，更与其数据存储方式密切相关。如果检测到的数据不能写入存储器，或者写入的数据出错，电表的精度就会大大降低。以前在设计电表电量存储方案中，我们采用的掉电数据保持器件有 EEPROM 存储器和 FLASH 存储器，或者用 SRAM 存储器加电池的办法解决。但它们都存在一定的缺点。EEPROM 读写速度低，容易受干扰，存在读写次数的限制（一般只有 10 万次）。而 SRAM 加电池的办法则线路复杂，可靠性差，移动时容易造成数据丢失。我们也曾采用具有锂电池不挥发的 NOVRAM 存储器，但是该存储器一般容量都不大且价格贵。而美国 RAMTRON 公司的新产品 FM24C256 铁电存储器，其核心技术是铁电晶体材料，同时拥有随机存取记忆体和非易失性存贮产品的特性。相对于其他类型的存储器，铁电存储器主要具有三大特点。第一，可以跟随总线速度写入而无须任何的写入等待时间；第二，几乎可以像 RAM 那样无限次的写入，新一代铁电存储器的写入寿命可达一亿个亿次；第三，超低功耗，它写入能量消耗仅为 EEPROM 的 1/2500。由以上优点可以看出铁电存储器同时兼具 ROM 和 RAM 的特性，为我们提供了一个简洁而高性能的一体化存贮技术。

4.2.1 FM24C256 内部结构及引脚功能

FM24C256 为 8 脚 SOIC 小封装，是一种具有 I²C 总线的铁电存储器，引脚排列如图 4-1 所示，引脚功能说明如表 4-2 所列。它的存贮时间短，能够在极短的时间内保存大量数据，解决了仪表在突然断电时数据及时、安全的存贮。为了普及使用，FM24C256 存贮指令和 AT24C256 兼容，只是在读写指令和应答是不需要延时，提高了擦写速率。封装体积、功能管脚和 AT24C256 一样，使设计者容易接受和运用。

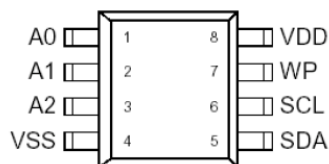


图 4-1 FM24C256 引脚排列图

Fig.4-1 Pin array graph

表 4-2 FM24C 256 管脚功能

Table 4-2 pin function of FM24C256

引脚名称	引脚类型	说 明
A0~A2	输入	I ² C 总线协议器件地址选择线
VSS	电源	电源地端
SDA	I/O	串行器件/地址线
SCL	输入	串行时钟线
VDD	电源	+5V 电源端
WP	写保护口	WP 为高时写禁止，WP 为低时写允许

4.2.2 FM24C256 的地址格式

FM24C256采用工业标准的I²C总线协议，总线上的所有操作都是由SDA和SCL两个脚位的状态来确定的，有开始、停止、数据/地址传送和应答四个状态，FM24C256在开始条件后接受的第一个字节是物理地址如图4-2。从地址包括部件类型，芯片选择，被访问的页面，还有一位是读写控制位。位7-4是部件类型，FM24C256为1010B，部件类型用以区分挂在两线接口上各种功能部件。位3-1是芯片选择，他们必须和外部地址脚相对应，两线协议能带八个FM24C256。位0为读写控制位，低电平为写操作。

1	0	1	0	A2	A1	A0	R/W
7	6	5	4	3	2	1	0

图 4-2 FM24C256 从机地址格式

Fig.4-2 Sub machine address format of FM24C256

在FM24C256接受应答装置地址后，主机将把记忆体地址送到总线上进行一个写操作。地址需要两个字节，第一个是高位字节MSB，因为记忆体只使用了15位地址，高1位没有使用。第2个是低八位字节LSB，保存8位地址，地址被内部锁存。每一次访问后，FM24C256内部地址锁存计数器递增，当前的地址是被锁存的值或是最后写入的或是下一个要访问的地址。只要电源恒定或是没有新的数据写入，当前的地址不变。读总是使用当前地址，一个随机读操作执行以下过程：先执行一个写操作，即能开始一个字节传送后，在应答之前，FM24C256内部地址锁存计数器递增。这样在没有另外的寻址要求就可以访问下一个顺序地址，在最后一个地址7FFFH到达后，地址计数器的内容又回到

0000H，在一个读写操作中没有字节数的限制。

4.2.3 FM24C256 的数据传输

该芯片的 32K 字节存储单元地址为 0000H - 7FFFH，通过 2 个字节 15 位的地址信号来寻址，地址输入 16 位，本芯片译码 15 位，编程时最高位置“0”，以便与将来大容量芯片兼容。存储器的读写操作可分为：单地址写、多字节写、当前地址读、当前地址连续多字节读和随机地址读等。FM24C256 严格按照 I²C 总线的时序和数据格式操作，限于篇幅，本文以单字节写为例简要说明。在单字节写操作方式下，主器件首先发送起始信号和从器件地址信息给从器件。在从器件返回应答信号后，主器件再发送两个字节的 15 位地址信息。写入 FM24C256 的地址指针，主器件在收到从器件的应答信号后再发送一个字节的数据到被寻址的存储单元，从器件再次应答，并在主器件产生停止信号后开始内部数据的写入。字节写操作时序如图 4-3 所示。

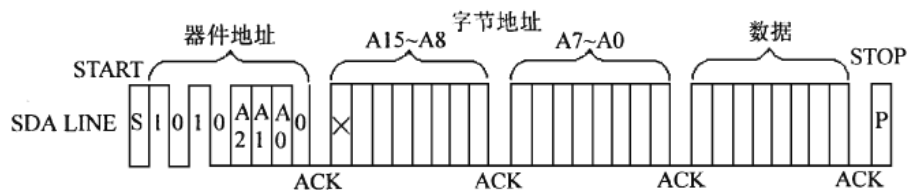


图 4-3 单字节写操作时序

Fig.4-3 Single-byte write timing

4.2.4 FM24C256 与 CPU 的接口设计

AT24C256 和 CPU 的连接非常方便，只要连接两根线就可以了。所有的地址、数据操作都只要通过这两根线。虽然 PICC65 本身自带 I²C 总线接口，但是它只能完成从器件的功能，因此还要为实现 I²C 协议编写额外的代码。FM24C256 和 CPU 的接口电路如图 4-4。

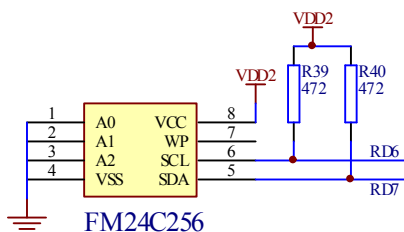


图 4-4 FM24C256 和 CPU 的电路连接

Fig.4-4 Circuit connection of AT24C256 and CPU

在仪表设计中，数据的安全存贮非常重要。如电子式电能表，它在运行期间时刻都在记录数据，如果功能设计比较多，那么保存的数据量大，擦写次数比较多。这要求有一个高性能的存贮器才能满足要求。现在的仪表设计，寿命要求长，数据保存安全期长。由于 FRAM 的读写次数为 100 亿次，MCU 检测到一个脉冲就可以写入 FRAM 内，以 3200 个脉冲为 1 度计算，FRAM 能存 3 百万度电。对单相表和单相复汇率表以是足够用，由于电量数据是实时写入 FRAM，所以不担心掉电后，数据会丢的问题，由于铁电存储器没有 10mS 的写周期，所以不必担心电容的容量变小后会对 FRAM 数据存储有影响，因为铁电存储器内没有缓冲区，数据是直接写如 FRAM 对应的地址中，所以写入的数据不会出错，即使出错，MCU 通过协议可以知道，所以同一数据不必存储到 3 个不同的地址。

4.3 时钟电路设计

智能多用户载波电能表需要一个实时时钟(万年历)，以便为分時計费、时间显示提供准确的时间。考虑到与单片机连接的方便性以及功耗问题，最终选择了由 EPSON 公司推出的一款工业级的 RX-8025 日历时钟芯片。

RX-8025 是 EPSON 公司生产的一种 I²C 总线接口方式的实时计时芯片，它内置高精度可调整的 32.768kHz 水晶振子，具有 6 种中断发生功能、2 个系统闹钟功能、振动停止检测功能、电源电压监视功能和时钟精度调整功能。RX-8025 时钟芯片与其它同类芯片相比，具有精巧的贴片包装、简单的结构、抗干扰能力强以及高精度度、编程容易、使用方便等特点，现在也大量为移动手机、携带终端、智能仪表、控制装置及其它电子领域中得到广泛应用。

4.3.1 RX-8025 的结构及工作原理

RX-8025 器件主要包括计时精度调整单元、振动停止检测和电源电压监视单元、中断发生和闹钟报警单元、I/O 控制单元和计时功能单元等。其内部电路如图 4-5。

中断控制及闹钟报警单元通过控制寄存器 1、控制寄存器 2 的相关位来监测中断管脚状态。通过读 *ctfg* 位来指示/*INTA* 脚输出固定周期中断状态，当读该位为 0 时，则/*INTA* 引脚的固定周期输出状态为“OFF”；当读该位为 1 时，则/*INTA* 引脚的固定周期输出状态为“ON”，如将该位置 0，则该固定周期中断输出状态关闭；通过 *CT2*、*CT1*、*CT0* 位的组合，来改变/*inta* 脚输出五种周期频率中断方式，它们是 2Hz（每 0.5 秒一次）、1Hz（每 1 秒一次）、1/60Hz（每分钟一次）、1/3600Hz（每小时一次）、月（每月的第一天一次）。固定周期中断的输出波形可有二种波形可选择，通常的脉冲波形（2Hz、1Hz）和对应 CPU 中断的 CPU 电平中断波形（每秒、每分、每时、每月）。

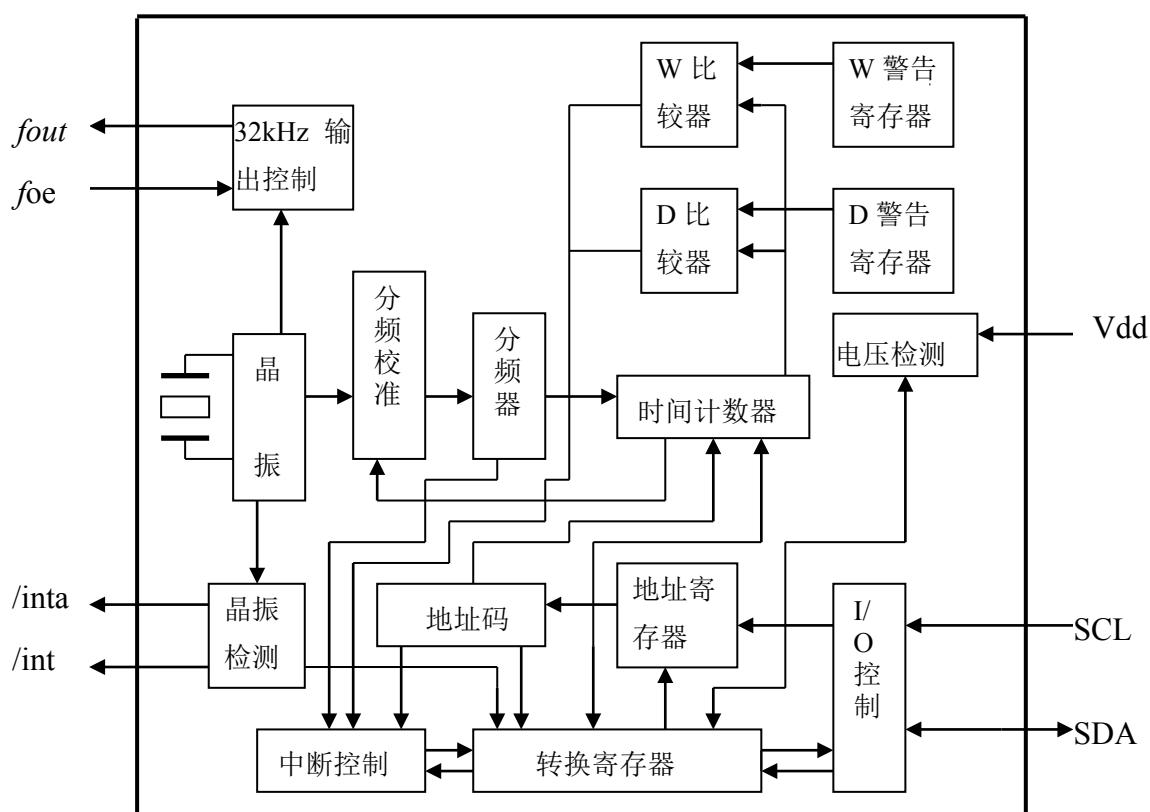


图 4-5 RX-8025 内部结构图

Fig.4-5 The internal structure of the RX-8025

4.3.2 RX-8025 的特点及管脚功能

4.3.2.1 RX8025 的电路主要特点

工作电压：1.7-5.5V；

输入输出均与 TTL 兼容；

双警告功能：ALARM-W 和 ALARM-D；

外部中断功能：/INTA 和/INTB；

具有内置 32.768khz 高精度调整的石英晶振输出，晶振工作电压为 1.15V

-5.5V;

工作温度：-30℃—70℃；

闰年自动日历更新，日历年为 99 年；

工作电流：0.48uA/3.0v(TYP)；

实际尺寸：10.1×5.0×3.1(mm)；

贴片封装：SOP-14；

支持 I²C 两条总线高速频率（400khz）；

断电后能保存数据；

具有时钟精度较准功能,并能通过它来改变时钟设定；

具有芯片正电压检测功能；

4.3.2.2 RX-8025 的管脚排列与功能 RX-8025 管脚排列如图 4-6 所示。

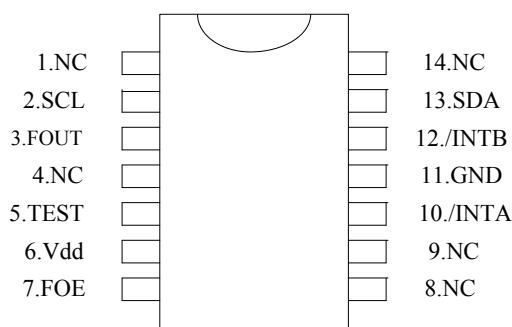


图 4-6 RX-8025 管脚排列示意图

Fig.4-6 Pin array map of RX-8025

其定义如下：

SCL：串行时钟输入端；

SDA：串行地址/数据 I/O 端；

FOUT：此脚为由 FOE 控制的 32.768khz 时钟输出端；

FOE：此脚为控制 FOUT 输出时钟信号的输入脚内置下拉电阻，当它接高电平时，FOUT 脚输出时钟信号；

/INTA：外部中断 A 输出，输出闹钟中断（ALARM-D）及固定周期中断；

/INTB：外部中断 B 输出，输出闹钟中断（ALARM-W）及固定周期中断；

TEST：测验脚，此脚接在 Vdd；

Vdd：正电源；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/535031140110011142>