

摘 要

随着现代电子技术的发展,以各种单片机为主要控制芯片的电子电能表的生产已形成规模。同时,随着我国经济的快速发展,电量消耗日益增加,这为电网稳定运行带来了许多不安全因素。国家加快智能电网建设,并采取多种形式的用电政策,以达到节能,削峰填谷,平衡用电的目的。

本文在电能计量理论研究的基础上,以珠海炬力集成电路设计有限公司生产的 ATT7022 为模数转换芯片,以 S3C44B0X 为主要控制芯片,利用 ARM-uClinux 嵌入式平台,CAN 通信技术,GPRS 通信技术等,设计和开发了一套适用于智能电网的智能型三相多用户电能表。

该表采用模块化设计,并在软件设计上,创新的引入了用户用电行为的预测算法。实验表明,所设计的智能多用户电能表不但能够很好地满足电能计量、远程抄表等需求,而且还能根据用户用电行为模式预测电能消耗,有利于节能和平衡用电。具有一定的社会应用价值。

关键词: 用户用电行为预测;多用户电能表;智能电能表;

ABSTRACT

With the rapidly development of modern electronics technology, the electronic energy meter controlled by kinds of single chip microcomputers is produced in a huge range today. At the same time, with the development of economy and the increasement of the electrical quantity consumption, the stable running of the grid is threaten heavily also. The country is now accelerating SmartGrid construction and has adopted various forms of electricity policy in order to keep energy conservation, peak load shifting and keep balance the energy consumption.

The paper is mainly based on the research of electric energy measurement theory, utilizes the chip ATT7022 produced by actions-semiconductor company in Zhuhai to A/D converter, single chip S3C44B0X produced by Samsung company to control the whole system. The paper finished the design of the three-phase intelligent multi-user energy meter which can be applying to SmartGrid by utilizing ARM-uClinux embedded platform, CAN & GPRS communication technology and so on.

It is adopted by module design. And, it has adopted a new algorithm based on customer electricity consumption forecasting in software. Experiments show, the intelligent multi-user energy meter can not only meet the requirement of power measurement and remote meter reading, but also is used electricity consumption forecasting based on the model.it is to the benefit of keeping energy conservation and balance energy consumption obviously. It has a social practical value.

Key words: Customer electricity consumption forecasting; multi-user energy meter; intelligent energy meter;

长沙理工大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：张朝朝 日期：2010年 6 月 7 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权长沙理工大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并通过网络向社会公众提供信息服务。

本学位论文属于

- 1、保密 ，在 _____ 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密 。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名：张朝朝 日期：2010年 6 月 7 日

导师签名：张朝朝 日期：2010年 6 月 8 日

第一章 绪论

当今，电能的使用早已广泛应用于社会生活和生产的各个方面，并成为现代社会的一个重要的标志。电能表又称电度表或千瓦时表，是专用来测量电能量的仪器。同时电能表也是电能消费经济结算中的主要工具，它的是否准确关系到国家、供电单位与用户三方的经济利益。

随着科技的进步，现代电子技术、自动控制技术和计算机技术的迅猛发展，在电能计量领域发生了巨大变化。电能表从以往的单纯的机械式电度表，发展到具有多种功能的电子式智能电能表。与此同时，由于电力资源的有限和使用情况的不平衡，国家不得不采用各种优化用电的政策和手段，而这些政策和手段促使了符合节能、平衡用电为目的的智能电能表产品相继出现。

1.1 选题背景

自电能表被第一次使用以来，它都在电能管理中占有核心地位，其性能直接影响着电能管理的效率和水平。第一台表被发明的100多年来，随着电能电力系统以及由电力消费所带动的相关产业的不断完善、发展及升级，对电能表结构和性能的要求也越来越高。而近代迅猛发展的现代电子技术、计算机技术、通信技术，又为电能表的更新与优化提供了必要的技术支持。以下先回顾电能表的发展历史、简叙当前国家电能管理现状、电能能源和电价政策。

1.1.1 电能表发展概论

大发明家爱迪生在1880年利用电解的原理发明了第一个直流电能表-时安计。意大利物理学家弗拉里斯在1888年提出用旋转磁场的原理来测量电能量理论，为感应式电能表发明创造了理论条件，因此交流感应式电能表又称作弗拉里表。德国人布勒泰在1889年制作成了世界上第一块机械式感应电能表。其表总重量为36.5kg。由此开始，感应式电能表在电能计量应用中占据了统治地位。

从本文不难想象，这第一只感应式电能表体积和质量都非常庞大。从此以后，为了减少表体尺寸和重量，人们开始想尽各种方法，直到十九世纪末期采用直流磁铁和浇铸零件技术，同时改进了计数机构，用了一个圆铝盘代替了原来一个盘

一个杯作转动元件^[1-2]，使得表体体积和质量大幅度降低。

在以后的二十世纪中的很长的一段时期内，机械式电能表的技术发展方向主要都是在缩小体积和改善工作性能方面。在1905年，出现了增加非工作磁路改进90度的方法和高导磁材料的出现，又一次极大地减轻了电能表的重量并缩小了体积，使得每只表的质量降到了1.8kg左右，并且还降低了功率消耗。现在，各种新型材料的应用，使机械电能表寿命长达15至30年。从而，机械式感应式电能表应用范围就得到了飞速发展。

机械式感应电能表的突出优点就是结构简单、操作安全、维修方便、造价低廉，虽然它也存在的许多缺点，如：准确度低、适用频率窄、功能单一等等。但是，其在相当长的一段时期，机械电能表还是得到了广泛的应用。

随着时代的进步，电子工业和微电子技术和通信技术的高速发展，以及市场上，用户用电负荷需求特性的不同，对电能计量方面提出了更高的精度要求，在这个方面，电子式电能表越来越显示出其优越性。同时，也由于机械电能表的驱动线圈的低频率窄带的电磁特性，即对于基波外的各次谐波功率信号难以成等比例转换成驱动力矩，因而造成机械感应式电能表对非线性负荷、冲击负荷的计量误差较大。机械感应式电能表的精度非常低、非线性负荷计量误差大和难以实现各种功能的诸多缺点，也造成机械感应式电能表技术发展停滞不前。

电子式电能表拥有容易实现多功能、高精度的优点，还具有自动抄表以及能嵌入各种先进通讯接口等诸多功能，这些优点促使各种新型的电子式电能表迅速发展，比如某些机电一体式的特种电能表、分时多费率电能表、有脉冲输出的电能表、多路最大需量表、预付费电卡电能表和电力定量器等等，它们都是采用感应式电能表作基表，同时增加应用电子电路来实现其新的功能。

在二十世纪六十年代末，一家日本公司发明了数字功率变换器，第一次实现了全电子化电能计量装置，受到全世界的关注。随着现代电子技术的进一步发展，模拟/数字转换技术和大规模集成电路的逐步完善，多功能电能表智能化功能日趋强大，促使具有各种功能的电子式电能表逐步代替机械式电能表，成为电能计量的主导地位。近年，国内外电子式电能表飞速发展，像芬兰、瑞典、挪威等许多西欧国家，其用户计费电能表已实现100%电子化。而我国上海电网65%以上的居民已使用了电子式电能表^[3-5]。

电能表经历了从机械式到电子式，从单一的计量功能到集计量、控制、通讯等多种功能于一身的发展阶段。从总体来看，目前的计量表计是机械式、电子式电能表并存，但长远来说，电子式电能表取代传统的机械式电能表是大势所趋。

电子式电能表从理论上逐步趋于成熟的，国内民用电表的市场需求也是悄悄地从以机械表为主体向以电子式电能表为主体的转变，在这个逐步趋于成熟过程中，IC卡预付费电能表就是半成熟的代表产品。

简单来说，IC卡预付费电能表是以IC卡射频技术作为电能量值数据传输介质，在电能表（电子式电能表或机械式电能表）中加入负荷控制部分等功能模块，从而实现电量抄收和电量结算的智能型电能表。

IC卡式预付费电能表的‘先付费后使用’方式—预购电量，用完断电的电费收缴管理，用最简单、最有效的方法解决了抄表难、收费难的问题，使管理部门有更多精力去规范用户用电秩序，提高服务质量，提高管理水平，IC卡预付费电能表为电力部门的收费及抄表带来了极大的方便和收益，IC卡电能表的特点：(1)不需要人工抄表；(2)实行先买电后用电，解决了收费难的问题。

IC卡预付费电能表同样有些问题：技术不完善，加上使用一段时间后，卡的接触面磨损，生锈等原因经常出现误报警；增加消费者的劳动强度，消费者承担原本属于售电方的劳动；随着电子技术和微机的不断普及，了解IC卡技术的人员比较多，很容易被解密，造成假卡情况；IC卡表抗干扰能力弱，质量问题突出，同时电能管理部门也不能监控用户用电情况等^[6-8]。

针对上面出现的问题，随着市场的特殊需求，电能计量技术也通过电子、通信、计算机技术的发展，涌现新的构思、新的理念，各种具有新型功能的电能表相继诞生。本文可以统称为第三代电表-智能型电能表，新型的智能电能表表现为下列几个方面。

1、具有通信的能力

绝大多数智能型电能表都具有通信能力，其本质是在电能表表体内增加了通信模块，即电能表可以通过通信模块接入计量信息网络，它是电能计量部分与远程自动抄表系统网络两部分的合成。这种电能表要涉及到所接入网络的硬件编码、相关技术指标与功能、通信规约、软件平台与统一的数据格式等。同时扩展网络要做到与原接入网络系统接口统一并且兼容，以实现实时计量、抄表、分析、

实时管理的目的^[9]。

2、多用户集中式

像学校宿舍，城镇居民住宅公寓化，用户相对集中，开发出适应电能计量管理和集中化、自动化需要的多用户集中式电能表适合实际需求的。具体设计思路是将多个单用户电量计量单元集中处理。采用大规模专用芯片或者高性能微控制器(单片机)实时对多个用户的用电量分别计量、用电集中通断控制和管理，这种表主要用于学校宿舍、居民楼的集中用电计量、远程抄表、计费与用电的自动化管理。

3、能嵌入智能化小区

现代新兴的智能化小区一般都有与其相配套的智能化管理系统。其系统主要功能有：住户信息管理、安防(包括防盗和防入侵系统、电视视频监控、门禁系统)和各种通信网络(包括闭路电视、Internet网络、电话程控交换机、无线基站)等功能模块。由于智能住宅区一般有这些比较完善的外部硬件条件，所以额外增加一个自动抄表的电能管理系统不但可行而且投资不高，其基本思路是：在住户住宅区各的各家均加装电子式智能电能表、水表、燃气表及热量表，在每个单元或者临近的几个单元所有住户的数据汇总所处单元的一个集中器或者一个有线/无线发射终端，将所有住户的用量数据通过有线网络、或者无线网络上传至能源管理部门的数据处理服务器。例如：以蜂窝移动无线网(GSM)以及短信息(SMS)的模式先上传数据到GSM网的SMS中心，SMS中心再将接收到的有关能源计量数据通过专线传送给供电、供水、供热、供气部门的数据处理服务器。现在GSM网的覆盖面现在几乎遍及到全国，所以在这个基础上，构建这种智能化住宅区的电能智能计量管理系统，不需要投资建立额外的基站，极大的降低成本。

由于智能电表的兴起，各种通信网络的普及化，电能管理也已经由原来的单表计量抄表结算发展到具有多种强大功能的综合性电能管理系统。

1.1.2 现代电能管理现状

长期以来，我国电能管理自动化程度低下，尤其是在抄表方面，对远程抄表的研究与开发也比国外缓慢，现在全国大多数地方仍停留在人工抄表阶段。近些年，随着我国经济的发展、电子工业的进步、各种各样的通信网络的普及，为人们在这领域的开发研究提供了物质条件，现在有很多研究机构、高科技公司企业、

开发人员投入到这一领域中来，并取得了显著的成果。其管理系统分为远程通信网络和现场总线网络两大类。在这两类中，又可以细分几个种类。

电能计量部分技术已经成熟，抄表系统技术关键是解决信息传输—通讯问题。按照通信方式，第三代多用户电能管理系统分为无线和有线两种类型。

1、无线方式

无线方式是指电能管理系统采用无线通信的方式来实现远程抄表，现在有一种常用的方式就是大功率的无线传输，这种方式须额外申请频段。

还有利用固有的移动、联通无线服务运营商的网络(如 GPRS 网，GSM)实现系统的远程抄表，这种方式使用范围很广，而且通信的成功率高，并无须额外申请频段，但是也会受到网络布局的限制。除此之外，还有红外无线通信方式，不过距离很短，一般用于抄表人员现场非接触抄读数据。电能表一般安装在地下室或者强电井中，安装环境屏蔽性强，不能保障无线网络覆盖这些区域。所以无线网络总体来说受到很大限制。

2、有线方式

根据使用的网络的不同，有线方式远程自动抄表分为以下几种：

(1)基于有线电视宽带的远程抄表方式：它的原理是将用户的用电数据通过特殊的电视信号调制解调器（MODEM），将数据转换为能在有线电视网上传输的信号，然后再进行解调，达到数据通信的目的。这种方式数据通信速度很快，也不易出现错码和误码，但是在硬件实现上较为复杂，相对来说存在较大难度，而且可行性较差，有待于理论、技术上进一步的突破。

(2)基于固话网络的远程自动抄表方式：即使用固定电话网络进行数据传输，固定电话普及率也相对比较广，目前大多采用固话 MODEM 方案，该种方式的优点在于数据采集成功率而且有较高可靠性，但这种远程抄表方式是通过电话拨号进行数据传输，众所周知，电话线速度较慢，所以在大量数据的集中传输中不太适合。

(3) 总线通信网络抄表包括：

a.基于现场总线技术的远程抄表：用户的电能表通过 IIC、RS485 、CAN 或着其他总线，与总线的通信控制器连接，成为一个现场抄表的通信网络，通信控制器主要工作是将用户数据上传至数据中心。根据居民小区规模，可安装一

个、多个通信控制器，共同形成一个或者多个现场通信网络。由于现场需布专线，所以费用较高，不太适应于小区改造，但是可靠性高，而且抗干扰能力很强。

b.基于电力载波的远程抄表：是以低压电力线为通信载体，用户电表终端的用电数据与通信控制器之间的通信通过电力线载波技术来完成，这种方式不需另铺专用通信线路。而且电力线网络是目前最大的网络。这种方式对现有的住宅改造容易，而且维护简单，但是这种方式通信速率低下，干扰特别严重^[10]。

结合我国目前的经济状况，和技术因素，在优先满足系统运行稳定实时的基础上，现场通信网采用CAN总线的网络抄表，远程通信网采用无线抄表系统将是一种很好的自动抄表方式。

1.1.3 我国电能及电价政策

在我国，电能的产生主要有两个方面：第一煤发电，根据1997年数据显示，我国煤炭的储藏量达高达6000亿吨，居世界第三位。但是人均储藏量约462吨，这个数据远远小于世界平均水平；第二水力发电，数据显示中国一直是一个干旱缺水严重的国家。其中淡水资源总量约为28000亿立方米，占全世界水资源的6%，次于俄罗斯、加拿大和巴西，居世界第四位，但人均只有2200立方米，仅为世界的平均水平1/4、是美国的1/5，在世界上名列到了121位，是全世界13个人均水资源最贫乏的国家之一。虽然现在我国发电装机量居世界第二位，只仅次于美国。但我国个人人均用电量很低，现在还有1亿多人用不上电，各省市均有拉闸限电的情况。

由于电能依然不丰富，所以电力生产对计划调度、经济调度要求愈来愈高。电力生产的特点是发、供、用电同时完成，因此，电能作为一种不可储存商品的流通使用过程中，对其准确计量有其特殊性。

为调节负荷用电时段，以解决日渐突出的电力供求矛盾，在不增添设备，不扩大设备容量的前提下，现在主要通过两种方法来解决：一是通过行政手段，在用电高峰时拉闸限电；二是通过经济手段，实行分时电价和阶梯电价，即提高用电高峰时段电能的售价，降低用电低谷时段电能的售价。为此，电力部门目前广泛地使用具有多个计量器能，能在不同费率时段内计量交流电有功或无功电能的复费率电能表。从2003年开始，国家在保持电价总水平稳定的前提之下，大力推

行峰谷分时电价政策，鼓励用户合理移峰填谷用电。同时，要求逐步完善电价制度，这扩大智能电能表的应用范围，为各种具有多费率功能的电能表带来了广阔的市场空间。

1.2 国内外研究现状

国内外对于研究电量计量和数据通信理论已经趋于成熟，现在智能电网相关技术成为了国内外研究的热点。所谓智能电网，即电网的智能化，它是建立在高速双向通信网络基础上，通过先进的传感和测量技术、先进的控制方法以及先进的决策，支持整个智能系统的应用，从而实现电网总体的可靠、经济、安全、高效、友好和使用安全的目标，智能电网主要特征包括：自愈、抵御攻击；激励用户、并提供满足21世纪用户需求的电能质量；兼容各种不同发电形式的接入；调整电力市场以及达到资产的优化高效运行。

在2005年，加拿大人马克坎贝尔发明了一种利用Swarm群体行为原理的技术，它让大楼里的电器互相协调，减少大楼在用电高峰期的用电量。他利用了一种无线控制器，把大楼的各个电器相连起来，并对之有效控制。例如，其中一台空调运转15分钟，以把室内温度维持在24℃；而同时，另外两台空调可能会在保证这个室内温度的前提下，停运15分钟。就这样，在不牺牲每个个体的前提下，使整个大楼的节能目标得以实现。这个技术赋予电器智能，提高了能源的利用效率。这就是智能电网技术的雏形。

在2006年中期，网点(GridPoint)公司开始销售，可用于监测家用电路消耗电量的一种电子产品，该产品可以通过网络互联网通信来调整家用电器的用电量。这个电子产品并具有了相互交换的能力。

在2006年，美国著名的IBM公司与一些电力企业、全球电力专业研究机构合作开发了一套“智能电网”解决方案。该方案被比喻成电网系统的“中枢神经系统”，供电网络公司可以通过使用先进的传感器、先进的计量表、先进的数字控件和先进分析工具，自动监控整个电网，优化电网运行性能、防止电网断电、而且可以更快地恢复供电，普通消费者对电力使用情况的管理也可细化到每个联网的智能装置。这个方案可以看作是智能电网较为完整的一个解决方案，它标志着智能电网概念由此正式诞生。

在我国，2007年10月，华东电网正式启动了智能电网可行性研究项目，并规

划了从2008年至2030年的智能电网建设“三步走”战略，即，第一步：在2010年初步建成电网高级调度中心；第二步：2020年全面建成具有初步智能特性的数字化电网；第三步：2030年真正建成具有自愈能力的智能电网。这一项目的启动标志着中国也开始进入智能电网建设的领域。

2008年，美国的科罗拉多州波尔得(Boulder)城市，已经成为了全世界第一个智能电网城市，该市的每户家庭里都安装了智能型电表，人们可以实时地了解当时的电价，从而把一些耗电的事情，比如洗衣服、烫衣服、洗浴等安排在电价低的时间段。智能电表还可以帮助居民优先使用风电和太阳能等清洁能源。与此同时，电力管理部门可以实时收集到每家每户的用电情况。一旦出现问题，可以快速的重新配备电力。

2009年2月2日，我国能源问题专家武建东，在《全面推互动电网革命拉动经济创新转型》的文章中，明确提出中国电网亟须实施“互动电网”革命性改造，互动电网即智能电网。第二年，国家电网公司制定了《关于加快推进坚强智能电网建设的意见》，确定了建设坚强智能电网的基本原则和总体目标。

国内外对于构建用户用电行为模式的研究尚未进行，电能定价也多是的分时定价和多费率定价的研究为主^[11-13]。

1.3 系统设计思路概述

本课题在现代智能电网相关热点技术基础上，设计和开发智能电网终端产品之一——新型智能多用户电能表。电能表不但具有同时计量多个用户、通断控制、电量存储、电量显示、远程抄表等功能，还具有用户用电消费预测的能力，为电力部门进行调配电力创造了条件。

本系统设计思路为模块化设计，主要分为硬件和软件两个方面，硬件方面主要的模块有电源模块、信号采集模块、多路选择模块、通信模块、时钟模块、断电控制模块和显示模块；电源模块为电能表提供能量；信号采集模块将需要测量的电压大电流信号转换为小信号；多路选择模块在 CPU 控制下循环选择其中一路信号进入计量电路中；通信模块负责电能表与用电管理部门、用户之间通信；时钟模块为系统提供时钟；断电控制模块对欠费用户进行断电；显示模块显示电量数据。

软件方面是在arm-uClinux平台之上进行设计的，其中包括对u-boot和uClinux

内核的移植、uClinux嵌入式系统下的驱动设计、电能表的主程序设计。着重构建了用户用电行为预测算法和算法实验分析。

1.4 本论文的组织结构和创新点

第1章 绪论部分，主要介绍了课题的背景以及研究意义，整体上给出了智能电能表的研制思路，最后给出了本论文的组织结构。

第2章 电能表硬件设计部分，分析了电能计量理论，介绍了计量芯片的内部结构以及ATT7022外围电路的硬件设计，同时着重分析和设计了电能表的主要硬件模块：电源模块、信号输入模块、CAN通信模块和显示模块。

第3章 用户用电行为预测算法，分析了用户用电行为的可预测性。根据时间序列的方法、用模糊理论构建了用户用电行为预测算法，对用户用电消费进行预测。

第4章 电能表软件设计部分，本系统是利用arm-uClinux丰富的资源进行开发。先介绍了S3C44B0X主控芯片、存储器芯片、u-boot移植和uClinux内核移植，接着进行了嵌入式系统下的驱动设计和电能表主程序设计，最后进行了用户用电行为预测算法实验分析。

第5章 总结部分，对本系统的工作做出总结，分析了不足的地方以及以后可能改进的方向。

本文在阅读了大量文献以及根据市场的具体需求的基础上，研究设计过程中完成的主要创新点有：

(1)在目前的技术条件下，本文采用了现场专线CAN通信与无线GPRS通信优势相结合的方式，这样电能管理部门可以实时监控用户用电和电网情况，同时无线的GPRS定时的发送时段电价、电量数据、功率数据和欠费提醒等，为用户提供更智能化的服务。

(2)改进了如电源模块、CAN通信模块等硬件设计，增强了电能表运行的稳定性。

(3)文章中首次以单个用户用电消费作为研究对象，并在电能表上引入构建了用户用电消费预测算法，为电能管理部门更微观更精准的预测电网负载创造了条件。

第二章 智能电表硬件设计

硬件部分是功能实现的载体,本系统设计的目的就是设计一种便于电力部门管理、成本低廉、安全可靠又便于维护的智能电网管理系统终端,智能多用户电能表。本章先从电能计量理论开始分析,然后简叙电能表的基本功能。逐步设计适用于智能电网技术智能电表的主要硬件模块。

2.1 电能计量理论

在自然界中,没有人类可以直接利用的电能,人类使用的电能都是来自其他形式能量的转换。比如,火力发电的热能转换;水力发电的势能转换和风力发电的动能转换等等。

从物理角度来看,电能是从电能源流向负载的能量流。负载消耗电能的快慢程度用功率表示。功率为电压与电流的乘积。功率的越大表示负载消耗越快,反之越慢。

功率有两种表示方式:1、平均功率;2、瞬时功率。对于直流电来说,电压和电流恒定不变,所以平均功率与其瞬时功率的值是相等的;而对于交流电来说,电压和电流在时刻变化,所以瞬时功率也在时刻变化,因此平均功率与瞬时功率并不时时相等。如果要计算在交流电下工作的用电设备,一段时间内消耗的总的电能,必须在这段时间内,对瞬时功率依次进行积分累加,得到要求的总的能量消耗。

现在,假如设电压的表现形式为 $u(t)$, 电流为 $i(t)$ 。

则可知: 瞬时功率 $p(t) = u(t) * i(t)$; (2.1)

由公式(2.1)可知,瞬时功率也是随着时间变化的函数。如果要求得平均功率,即在某个时间段内的平均值。应该等于该函数(2.1)对单位时间积分后,再除以这个时间段,所以平均功率应为:

$$\begin{aligned} P_{\text{平均}} &= E / \Delta T \\ &= \int_2^1 u(t) * i(t) dt / \Delta T \end{aligned} \quad (2.2)$$

同样可知,如果电压是正弦信号交流电,电流也是正弦信号交流电,则公式

(2.2)可以等价为:

$$P_{\text{平均}} = E / \Delta T = \int_2^1 U * I \cos\theta dt / \Delta T \quad (2.3)$$

在上式(2.2)中,在物理量中,U为交流电压有效值,I为交流电流有效值。因为电力网中的复杂性,使得交流电压和交流电流的相位并不一致,所以电压有效值和电流有效值之间必定存在相位差。

在式(2.3)中,本文把 $\cos\theta$ 当为功率因数,它的含义为:有功功率与视在功率的比值。在电力网中,电能实际消耗的平均功率为有功功率,U,I的乘积为视在功率^[14]。

在现实电网中,交流电压电流一般会受到各种因素影响。信号中常常包含了50Hz频率以外的正弦信号。而这些信号常常是多次谐波频率信号-基频信号的整数倍。频率包括了100Hz、150Hz、200Hz等等。

另外,电力网中,工作着许多各式各样的电器,比如开关电源,它将会引入各种各样的噪声进入电力网络,从而引起电压波形发生畸变。而事实上,从文中可以发现瞬时功率公式 $p(t) = u(t) * i(t)$,它本身就是含有直流分量和各次谐波高频分量信号。由数学公式推知,任何不为0的频率分量在长期积分结果为一定值。时间对于该频率的积分来说没有任何贡献。因此对于电量的计量,在数学上来说,就是瞬时功率中的直流分量在时间上的积分和。瞬时功率的各次频率分量对电能计量没有任何贡献。这一理论正是当前许多电能计量芯片,进行有功电能计量的基本原理^[15]。

2.2 智能电能管理系统

本智能多用户电能表所处着的电能管理系统中的如下位置。电能管理系统方案如图2.1所示。

方案中,多用户电能表、数据转接器、用电管理部门构成了整个智能电能管理系统。这个系统完全具备智能电网的基本特性:1、高速双向;2、通过先进的传感和测量技术;3、先进的控制方法以及先进的决策。

其中每个部分都有着其不同的功能,在整个系统中都承担着一定的作用。电能表之间与数据转接器通过CAN总线连接在一起;而电能表中因为有GPRS模块,可以与用户手机之间通过GPRS网络联系起来;数据转接器与用电管理部门

通过各种通信连接在一起，共同形成了功能较为强大的智能电能管理网络。各个设备功能具体如下：

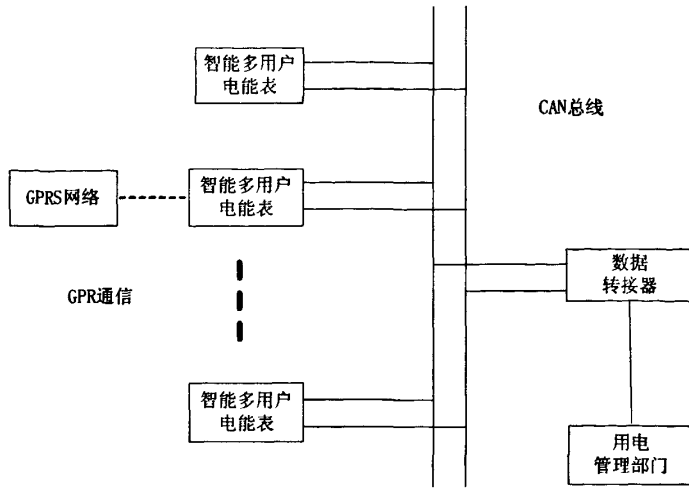


图2.1 智能管理系统网络框图

(1) 多用户电能表是智能管理系统的终端部分，它的功能主要有：电能采样计量、电量显示和存储、数据传输、用户通断电控制、费率计算、用户用电行为模式构建等功能。

S3C44B0芯片是本设计的电能表的“大脑”，CPU控制着外围所有硬件模块，使它们协调进行工作。S3C44B0芯片通过运行前已经烧录于存储模块芯片其中的程序，来运行控制外围所有的模块。

(2) 数据转换器是连接电能表终端、用电管理部门或者智能电网中心服务器的连接点设备，是电能表与服务器之间的桥梁。

用电管理部门通过数据转换器下达对电能表的各种指令或者数据，转换器将指令或者转化成适合CAN总线通信的电平。电能表终端通过数据转换器发送用户用电数据或者电网参数给服务器，便于用电部门对数据集中处理和分析。

(3) 用户通过电能表中的GPRS模块接收电量信息，电价信息，使用户实时了解用电情况。

(4) 用电管理部门综合各用户的用电数据和电网运行参数进行数据分析、处理，调控用户用电和调整用电政策，以实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标^[16-17]。

2.3 多用户电能表硬件设计方案

多用户电能表硬件设计系统的整体结构框图2.2 所示：

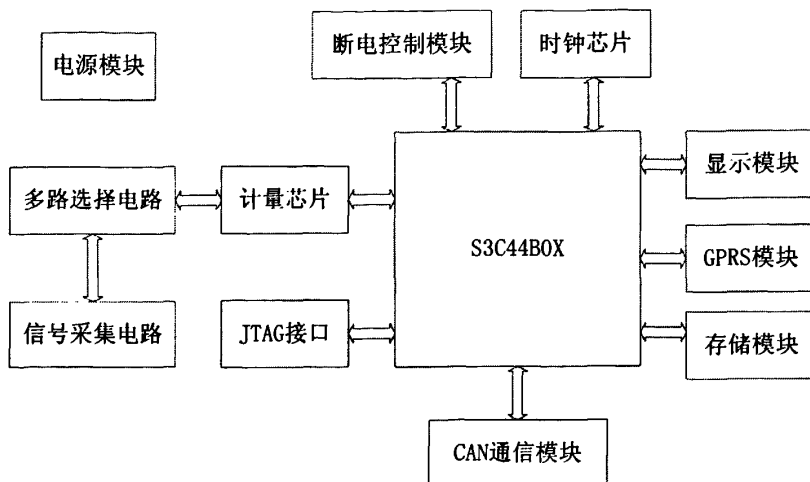


图2.2 电能表硬件设计框图

在本方案中，智能电表通过信号采集电路中的电压互感器将电压信号变成可用于芯片测量的电压小信号，电流互感器将电流信号变成可用于芯片测量的电流小信号；得到的小信号通过多路选择电路进入专用计量芯片。

利用专用的计量芯片将变换好的电压、电流信号进行A/D转换，接着通过内部数据信号处理，计算出所采样的电能有功功率和无功功率等，以及智能系统所需的各种电能参数，同时对电能进行累计，接着将这些数据存放在芯片特定的寄存器内，供S3C44B0芯片读取。

断电控制模块控制用户通断电情况，如果用户欠费，或者交费后，该模块根据电量情况，对用户通断电。存储模块存储电能表运行程序，记录用户用电数据，存储用户用电行为模式参数。时钟芯片便于电能表进行用户用电行为模式分析，便于电能管理部门在复费率情况下，切换电价等。JTAG 接口为本电能表的调试接口和程序下载接口。GPRS 通信模块将电能数据发送到用户手机中。

电源模块必须为整个电表系统的运行提供稳定可靠的电源。在本电源的设计中，采用改进的三相变压正极输出并连和低压差芯片技术，只要三相中其中一路有电，电能表都能进行工作，大大增强了电能表工作的稳定。

S3C44B0 通过 CAN 通信模块电能表数据上传至电力管理部门，使他们能实时的得知电能数据，并及时作出反应，如：变电站配送电力，用户峰时节电谷时

用电等^[18-21]。在本 CAN 通信电路中，采用磁珠等改进技术增强其通信稳定性

2.4 主要模块电路设计

本系统由多个硬件模块组成，功能强大。下列介绍主要 4 个模块的电路设计：电源模块、信号输入电路、CAN 通电路、LCD 显示电路。

2.4.1 电源设计

电源是所有电子智能系统中不可缺少的模块单元，它是电子设备中供给能量的动力部分。本设计的电能表产品特殊，需要相当长时间不间断工作。并且智能电表在计量上要求较高的准确性、运行时要求可靠和具有抗干扰的能力。这些严格的要求，必须先以电源部分工作安全稳定为前提。所以智能电能表的电源设计也是非常重要的模块之一。

本系统采用了由交流电经变压、整流、滤波、稳压而形成的直流电源。其要求实现为 CPU、通信模块和主处理器中的各处理芯片供电。本电能表为三相电能表，A、B、C 三相分别经过三个变压器降压输出后，经过桥式整流变为直流电并联输出。电路图如附录 1。在现实应用中，可能会出现只有一相或者两相电源供电情况。当出现这种情况时，如下设计保障可以提供电表稳定电源。当交流电 A、B、C 三相任何其中一相有电时，都能供给电表电能。

本电能表需要 15V、9V、5V、3.3V 和 2.5V 多种不同的电压源。如：S3C44B0 则需要 3.3V(I/O 供电电源)和 2.5V(内核供电电源)，继电器芯片需要 15V 的电源等^[36]。本系统采用的 LM2576-15/5 芯片和 LM1117-5.0/3.3 以及芯片。

在附录 1 电路中，交流电整流输出后的直流电波形为半正弦信号，不能直接用于各级芯片，所以需要电源芯片 LM2576 整流成为稳定电压的直流电源信号。LM2576 是 DC/DC 直流降压开关电源，可以稳定的输出数字电压源。它有 3.3V、5V、12V、15V 和 ADJ 可调输出，可调输出电压范围 1.23V~37V；输出电流（最大）3A。宽电源输入 3V~45V，输入电压最高可达 45V，开关频率 52KHz，封装 TO-220/263，过热保护和限流保护功能。LM2576 芯片的外围电路如 L1、C7 起到稳定电压的目的、C8 电容为高频滤波的作用。D5 二极管起到电压保护的作用。DW2 芯片的外围电路与 DW1 外围电路同理^[22]。

LM1117 是一个低压差电压调节器系列。其压差在 1.2V 输出，负载电流为

800mA 时为 1.2V。它与国家半导体的工业标准器件 LM317 有相同的管脚排列。LM1117 有可调电压的版本，通过 2 个外部电阻可实现 1.25~13.8V 输出电压范围。另外还有 5 个固定电压输出(1.8V、2.5V、2.85V、3.3V 和 5V)的型号。

LM1117 系列具有 LLP、TO-263、SOT-223、TO-220 和 TO-252 D-PAK 封装。输出端需要一个至少 10uF 的钽电容来改善瞬态响应和稳定性^[23]。LM1117 系列输出电流超过 1A，最大输入电压为 20V。以 3.3V 为例，电路设计如附录 1 电路图所示。

同时，在以后的硬件功能模块中，还会用到特需的电源，比如数据通信中的需要电源电路隔离，一般采用 DC-DC 隔离电源。电路设计如附录 1 电路图所示。

2.4.2 信号输入电路设计

信号输入电路包括两个部分：信号采集模块和多路选择模块。

信号采集模块是所有表计计量器件系统中不可缺少的部分。计量表计通过信号采集模块，采集所测量的信号，经过一系列内部处理，得到本系统所需要的信息。本电能表的信号采集分为两个部分：1、变压部分；2、滤波部分。

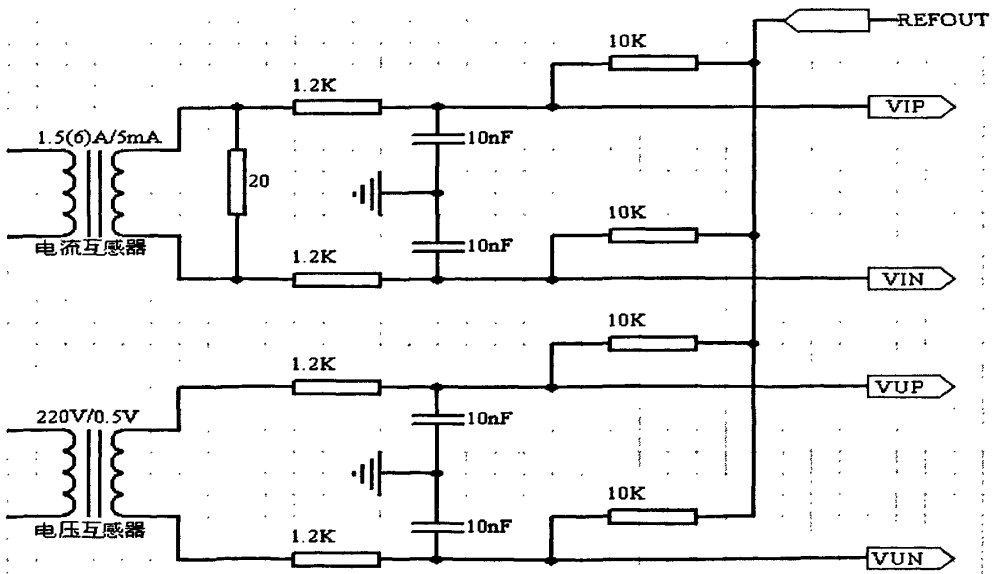


图 2.3 信号采集电路

变压部分的目的是把三相交流电中的高电压和高电流信号转换成适合 A/D 转换芯片输入范围的小信号。转换方式一般有两种，第一种：利用电路中的传递函数方式把输入的 220V/380V 民用交流电进行分压，然后再把分压信号传给电

能计量芯片的 A/D 输入接口；第二种：利用电压或者电流互感器直接进行降压后，得到需要的交流信号，直接输出给电能计量芯片的 A/D 输入接口。这两种方式各有其优缺点。

第一种方式的优点成本较低，但是因为要直接接到 220V/380V 民用交流电路中，因此会无法对交流电中的干扰信号进行有效隔离，还有电路中所选元件必须是大功率器件。再者要利用电路中的传递函数来进行分压，要求所选元件的精度一定很高；第二种方式，是利用互感器对交流电进行隔离变压，但是信号输出稳定；电路设计也比第一种方式简单，但是成本一般会略高于第一种方式。本文基于实际情况考虑，本次设计选用的是第二种方式。

滤波电路是用于滤去整流输出电压中的纹波的电路，它一般由感抗和电阻元件混合组成。例如在负载电阻两端通常并联一个或者几个电容器 C，或者在与负载串联的电路中增加电感器 L。各式电容和电感混合组合，可以形成各种复合式的滤波电路。

由 Nyquist 采样定理可知，对信号采样时为避免高于折叠频率的杂散频谱进入采样器造成频谱混淆，通常在采样器前加一个保护性的前置低通滤波电容来，阻止高频率分量的进入。在这里本文采用的是 RC 低通滤波电路。根据设计方案，本文选用的是利用电压互感器和电流互感器间接进行变压。图 2.3 为互感器的原理图，电流得到需要的交流信号后，经过滤波电路采集，直接输出给计量芯片的 A/D 接口进行采样。

在本系统设计当中，A 相分离为 8 个电流互感器，B 相分离为 8 个电流互感器，C 相分离为 8 个电流互感器，分别对应 A 相 8 个住户，B 相 8 个住户，C 相 10 个住户。共计 24 个住户。

多路选择电路叫做数据选择器，也称多路选择器或多路开关。

在本设计的电能表中，有多达 24 个电流互感器和 3 个电压互感器，这意味着有 27 路数据需要处理，如果同时给每路信号单独的通道，将会需要设计高达 27 路信号通路，硬件成本会非常高，不切实际。所以本系统必须采用其他的方法。

由时分复用的原理可以得到解决方法。时分复用，即把一个传输通道进行等时间分割，来传送若干话路的信息，比如：把 N 个话路设备接到一条公共

的通道上，如果它们同时通信的话，每个话路的信息将被其他话路干扰，从而无法通信。如果按一定的次序，轮流地给每个设备分配一段使用通道的的时间片。当轮到该个设备时，这个设备才与通道接通，执行通信。与此同时，其它设备与这个公共通道的联系均被切断。等到指定的使用时间间隔一到，则通过时分多路转换开关把通道联接到下一个要连接的设备上去，让下一个设备进行通信。时分制通信也称时间分割通信，它是在数字电话多路通信上广泛应用，因而 PCM 通信常称为时分多路通信。

本系统中，同样可以利用到这个原理。即设计出专门的多路选择电路，能够根据需要将其中的任意一路选出来，设计框图如上图 2.4。

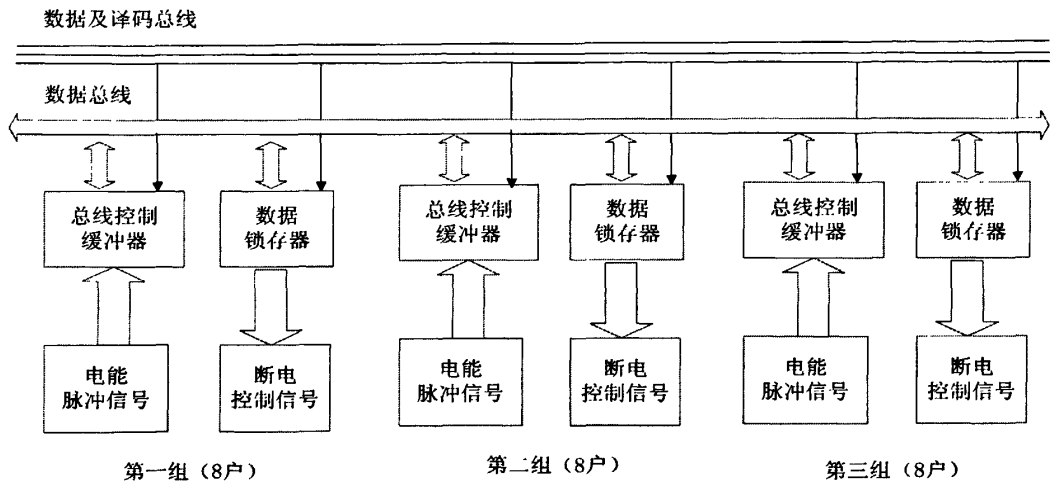


图 2.4 多路采集通断控制框图

数据译码总线，选择其中一个通路，与此同时，其他通路在断开状态，这一通路让电能信号脉冲进入总线控制缓冲器，由数据总线将数据传送至处理芯片。当到下一时刻时，选择下一路信号通路。这样循环进行。将每一个通道的信号采集到计量电路中。

2.4.3 电量计量电路设计

电能计量芯片是整个计量智能电能表的核心部件，它主要工作是完成对电压和电流小信号的采集、模拟/数字信号的转换、数字信号处理以及完成电量计算所需的各种参数。计量芯片的性能将直接决定了数字电能表的其他相关项性能指标。同时，对于三相电子远程电能表来说，它的使用涉及到所在的每个用户的切身利益。因此，对于电能表的设计，在对计量芯片的选择要求上显得十分苛刻。

在该智能电表系统中,对于电能计量芯片的功能除了要求要具有电压和电流的采集、A/D 转换、数字信号处理和计算,以及各种所需的参数外,还要求需要所测得的参数的精确度必须达到一个比较高的标准。现在工业常用的三相交流电有三相四线、三相三线这两种类型,因此需要电能计量芯片能兼容上面这两种模式。

现在市场上有很多电能计量芯片,具有代表性的有:珠海炬力集成电路设计有限公司生产的 ATT7022、ATT7026 芯片;ATMEL 公司的生产的电能计量专用芯片组 AT73C500、AT73C501;美国 ADI 公司生产的 ADE7758 系列等。这些计量专用芯片具有其共同点:1、集成度高;2、精度高;3、接口简单。这些优越性能为设计出高性能的电子式智能电能表提供了良好的解决方案。

本文采用这些专用电能计量芯片来开发电子式智能电能表,不仅能够测量功率、电能,而且还能够测量电压、电流、功率因数、频率等多种电能参数,为电力部门电能管理的现代化提供了条件。本文综合比较各厂家生产的各种电能计量芯片特性和功能,认为珠海炬力集成电路设计有限公司的 ATT7022 比较适合本系统对于电能计量芯片的要求。

1、芯片 ATT7022 简介

芯片 ATT7022,是一种高精度三相电能专用计量芯片,它对于三相三线和三相四线交流电的测量都适用;在芯片内部集成了六路二阶 sigma-delta ADC、参考电压电路,以及所有有效值、功率、能量、功率因数以及用于频率测量的数字信号处理等电路;也能够测量,各相以及三合相的有功功率、视在功率无功功率、有功能量、以及无功能量,同时还能测量电压有效值、各相电流、功率因数、频率、相角等参数,充分满足了三相多功能电能表的需求。

ATT7022还支持全数字域的相位、增益校正,以及纯软件校表;有功、无功电能脉冲输出;CF1、CF2引脚提供瞬时有功、无功功率信息,可以直接接到标准表,进行误差校正。ATT7022还提供一个SPI接口,通过这个接口,MCU方便与外部之间进行计量参数以及校表参数的传递。所有电能计量参数都可以通过SPI接口读出。

ATT7022芯片内部的电压监测电路,可以保证加电和断电时正常工作。同时,ATT7022 芯片片内包含一个电源监控电路,这个电路可连续对模拟电源(AVcc)

进行监控。当该电源的电压低于 $4V \pm 5\%$ 时，芯片将会被复位。这个监控电路有利于电路上电和掉电时，芯片的正确启动和正常工作。电源监控电路被安排在延时和滤波的环节中，这样在最大程度上，防止了由电源噪声引发的错误。为保证芯片正常工作应对电源采用去耦电容方式，使 AV_{CC} 的波动不超过 $5V \pm 5\%$ 。

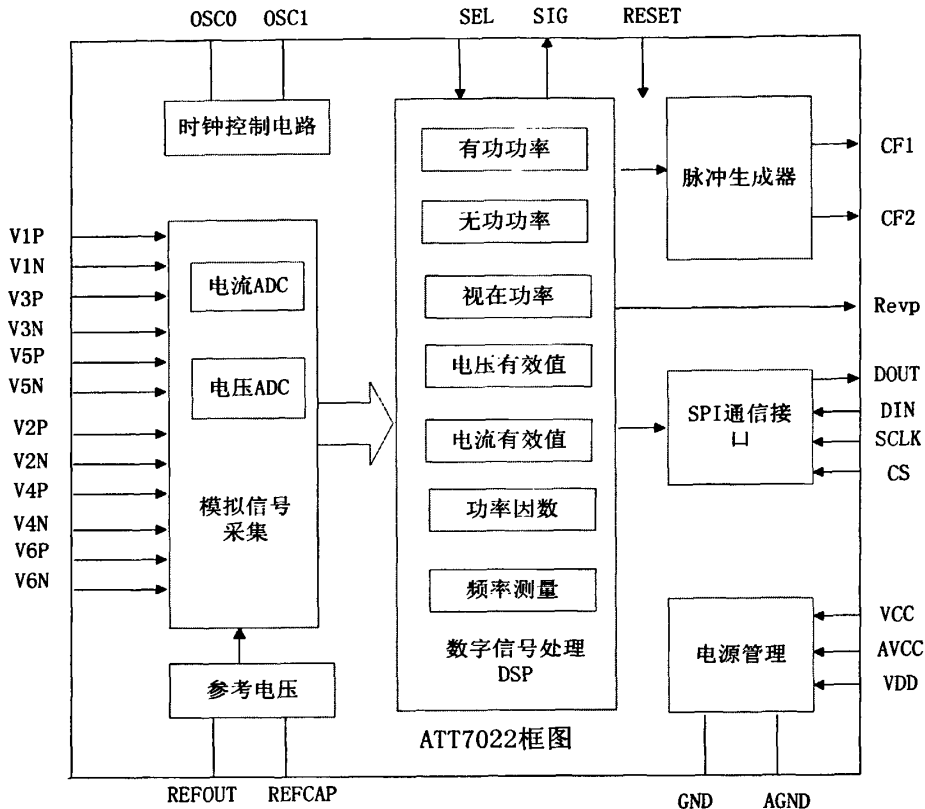


图 2.5 ATT7022 的内部结构框图

ATT7022芯片片内集成了6路16位的ADC，采用双端差分信号输入方式。它的最大输入电压为1.5V，即可知输入最大的正弦信号有效值是1V。本文经常将电压通道 U_n 对应到ADC的输入选在0.5V左右，而电流通道 I_b 时，ADC输入选在0.1V左右。ATT7022芯片每相能量测量与计算如图2.6所示。前端的16位是sigma-delta型模拟/数字转换(ADC)采用过采样技术，采用这样的方式，可以保证采样的速率，芯片有功功率计量可以包含高达21次谐波信息；芯片中，数字高通滤波器主要是用于除去电压和电流采样数据当中的直流分量。芯片无功功率计量算法，与有功功率计量算法类似，不同点是输入的电压信号采用移相90度之后得。测量的带宽主要是受到数字移相滤波器的带宽限制，所以无功功率的测量

也可高达21次谐波。

ATT7022通过对电流、电压采样值进行平方、开方以及数字滤波等一系列运算得到。有效值测量误差小于1%^[25]。

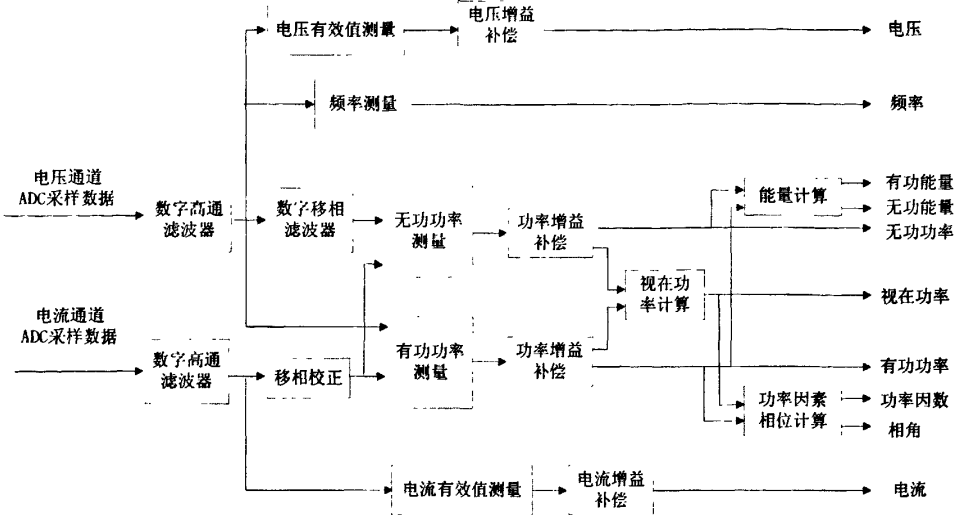


图 2.6 ATT7022 数字信号处理框图

2、基于 ATT7022 电路设计

相对来说，因为ATT7022功能强大，所以硬件电路设计相对较为简单，与处理器的接口电路只需要五根线即可，其中包括：SCLK, DIN, DOUT, RESET, CS这5个引脚。RESET即为芯片ATT7022的复位引脚，如果该引脚上，持续加时间大于20us的低电平时，芯片ATT7022将进入复位状态，如果当RESET引脚出现高电平时，芯片ATT7022又将从复位状态变成正常的工作状态，主控制器可以通过的I/O口RESET引脚进行控制。其它四引脚则是用于SPI通信：引脚CS为SPI片选信号，SCLK为SPI通信的同步时钟，DOUT和DIN分别为数据输出线和数据输入线。附录2为ATT7022与采样信号的电路原理图，附图中的引脚编号对应芯片真实的引脚。

2.4.4 CAN 通信电路设计

CAN全称为“Controller Area Network”，即控制器局域网，是现在国际上应用最广泛的现场几个现场总线之一。

在80年代末，CAN最初出现在汽车工业中，德国Bosch公司最先提出。当时，由于消费者对于汽车功能的要求越来越多，而这些功能的实现大多是基于电子操作的，这就使得电子装置之间的通讯越来越复杂，同时意味着需要更多的连接信

号线。提出CAN总线的最初动机就是为了解决现代汽车中庞大的电子控制装置之间的通讯，减少不断增加的信号线。于是，他们设计了一个单一的网络总线，所有的外围器件可以被挂接在该总线上。比如：在发动机管理系统、在变速箱控制器、在仪表装备和电子主干系统中，均嵌入CAN控制装置。1993年，CAN已成为国际标准ISO11898(高速应用)和ISO11519（低速应用）。

在一个由CAN构成的单一总线网络中，理论上可以挂接无数个节点，一个接点等于接一个控制器。但在实际应用中，节点数目会受到CAN网络的硬件电气特性所限制。例如，当使用Philips PC82C250作为CAN的驱动收发器时，在同一网络中，只能允许挂接110个以下个节点。CAN总线可提供最高达1Mbit/s的数据传输速率，这样高的速度使实时控制变得非常容易。另外，对于CAN总线的硬件错误检定特性也增强了，同时CAN的抗电磁干扰能力也特别强。

CAN总线是一种多主方式的串行通讯总线方式，它的基本设计规范要求有高位速率，高抗电磁干扰性，而且能够检测出总线数据产生的任何错误。当信号传输距远达到10Km时，CAN总线仍可提供高达50Kbit/s的数据传输速率。由于CAN总线具有很高的实时性能，因此，CAN总线已经在航空工业、汽车工业、安全防护、工业控制等领域中得到了广泛应用。成为最具广泛的总线之一。

CAN总线的通讯协议，主要是描述设备之间的信息传递方式。CAN总线层的定义和七层模式-开放系统互连模型(OSI)一致。模型的每一层与另一设备上相同的那一层之间通讯。但是，实际的通讯则是发生在每一设备上相邻的两层，而两个设备只通过模型的物理层的物理介质互连。CAN总线的规范定义了模型的最下面两层：数据链路层和物理层。在下表2-1中，展示了OSI开放式互连模型的各个层。应用层协议可以由CAN总线用户定义成适合特别工业领域的任何的方案。DeviceNet标准已在制造业领域和工业控制得到广泛应用，这个标准是为PLC和智能传感器设计的。在传统的汽车工业，许多汽车制造商都应用他们自己的标准^[26]。

CAN总线能够使用多种物理介质相连，如双绞线、光纤等等。现实当中最常用的就是双绞线。CAN信号使用的是差分电压传送，两条总线信号线被称为“CAN_L”和“CAN_H”，在静态时均是2.5V左右，此时状态表示为逻辑“1”，也可以叫做“隐性”。如果CAN_H比CAN_L高，则表示为逻辑“0”，称为“显形”，在

此时，通常两线的电压值为： $CAN_H = 3.5V$ 和 $CAN_L = 1.5V$ 。

CAN具有非常优越的特点，使人们乐于选择它作为总线使用。这些特性包括：

- 1、成本低廉。
- 2、较高的总线利用率。
- 3、远距离的数据传输能力（长达10Km）。
- 4、速率可以高达1Mbit/s高速数据传输能力。
- 5、可以根据报文的ID决定接收或屏蔽该报文数据。
- 6、具有可靠的错误处理和检错机制。
- 7、再发送的信息遭到破坏后，可以自动重发。
- 8、设备节点在错误严重的情况下，具有自动退出总线的功能。
- 9、报文中不包含目标地址或源地址，仅用标志符来指示功能信息、优先级等信息。

表 2-1 OSI 开放系统互连模型表

1	物理层	规定通讯介质物理特性。比如：信号交换和电气特性的解释
2	数据链路层	规定了介质上传输的数据位的组织和排列。如：数据校验和帧结构
3	网络层	规定了网络连接的建立、维持和拆除的协议。如：路由和寻址
4	传输层	两通讯节点之间数据传输控制。操作如：数据重发，数据错误修复
5	会话层	依靠低层的通信功能来进行数据的有效传递。
6	表示层	将两个应用不同数据格式的系统信息转化为能共同理解的格式
7	应用层	最高层。用户、软件、网络终端等之间用来进行信息交换。

标准 CAN 总线的标志符长度是 11 位，而扩展格式 CAN 总线的标志符长度可达 29 位。CAN 总线协议的 2.0A 版本规定 CAN 总线控制器必须有一个 11 位的标志符。同时在 2.0B 版本中规定，CAN 总线控制器的标志符长度可以是 11 位或 29 位。遵循 CAN2.0B 协议的 CAN 总线控制器可以发送和接收 11 位标识符的标准格式报文或 29 位标识符的扩展格式报文。如果禁止 CAN2.0B 方式，则 CAN 总线控制器只能发送和接收 11 位标识符的标准格式报文，而忽略扩展格式的报文结构，但不会出现错误^[27]。

在本系统中，与 S3C44B0 接口电路如附录 3 图通信电路原理图。因为电能表通过 CAN 与表外通信，经常有干扰通过 CAN 总线进入表体中，为了维护表体的稳定性，必须在硬件上作些抗干扰的设计，通常在电源方面采用 DC-DC 隔

离。在总线上采用光藕隔离的方式。外部的干扰信号不能通过光藕进入到表体中，从而起到抗干扰的作用。

CAN通信模块主要由MCP2510、PCA82C250芯片组成。MCP2510是一个独立的控制器,有BasicCAN和PeliCAN两种不同的模式，MCP2510的内部功能模块主要有：接口管理逻辑、接收FIFO队列、接收滤波器、发送缓冲器和CAN核心模块。PCA82C250芯片对CAN总线提供差动发送和接收能力。CAN核心模块基于CAN2.0B的协议执行对CAN帧的发送和接收。

在本模块设计中，外部接入部分采用磁珠，进一步起到滤波作用。电路中的TVS管防止浪涌，当线路中有大电流时，电流通过PLM712接地，从而起到保护的作用。

S3为短接端子，对于电能管理系统来说，如果该表实在总线的最末端，则短接S3，R35电阻120欧起到总线的匹配电阻的目的，如果该表不在CAN总线的末端，则断开此端子。

2.4.5 液晶显示电路设计

本文所采用的 LCD 模块是 LM16032 系列点阵图形式液晶显示模块，采用 S3C44B0 本身带有的控制器，配合操作时序电路。4/8bit 并口数据传输。芯片内带 8192 个标准 GB 码的简体中文,126 个字母符号字型。基本特性如下：

- (1)电源电压:单电源 5.0V;
- (2)显示分辨率:160×32dot;
- (3)显示方式:STN,正显,半透;
- (4)背光:高效率白色 LED 背光;

一般完善的嵌入式系统除了有稳定的内部运行系统外,还应该有良好的人机对话界面。液晶显示屏是将内部一些与客户相关的信息显示出来,可以使客户能时刻了解系统运行的状态。通常常用的 LCD 显示模块,有两种,一是带有驱动电路的 LCD 显示模块,一是不带驱动电路的 LCD 显示屏。大部分 ARM 处理器中都集成了 LCD 的控制器,所以,针对 ARM 芯片,一般不使用带驱动电路的 LCD 显示模块^[28]。

S3C44B0X 中具有内置的 LCD 控制器,它能将显示缓存(在 SDRAM 存储器中)中的 LCD 图像数据传输到外部的 LCD 驱动电路上的逻辑功能。它支持单

色、4级、16级灰度 LCD 显示，以及 256 彩色 LCD 显示。在显示灰度时，它采用时间抖动算法 (time-based dithering algorithm) 和帧率控制 (Frame Rate Control) 方法，在显示彩色时，它采用 RGB 的格式，即 RED、GREEN、BLUE，三色混合调色。通过软件编程，可以实现 233 或 332 的 RGB 调色的格式。对于不同尺寸的 LCD 显示器，它们会有不同的垂直和水平像素点、不同的数据宽度、不同的接口时间及刷新率，通过对 LCD 控制器中的相应寄存器写入不同的值，来配置不同的 LCD 显示板。

S3C44B0X 中内置的 LCD 控制器提供了下列外部接口信号：

VFRAME: LCD 控制器和 LCD 驱动器之间的帧同步信号。它通知 LCD 屏开始显示新的一帧，LCD 控制器在一个完整帧的显示后发出 VFRAME 信号。

VLINE: LCD 控制器和 LCD 驱动器间的同步脉冲信号，LCD 驱动器通过它来将水平移位寄存器中的内容显示到 LCD 屏上。LCD 控制器在一整行数据全部传输到 LCD 驱动器后发出 VLINE 信号。

VCLK: LCD 控制器和 LCD 驱动器之间的像素时钟信号，LCD 控制器在 VCLK 的上升沿发送数据，LCD 驱动器在 VCLK 的下降沿采样数据。

VM: LCD 驱动器所使用的交流信号。LCD 驱动器使用 VM 信号改变用于打开或关闭像素的行和列电压的极性。VM 信号在每一帧触发，也可通过编程在一定数量的 VLINE 信号后触发。

VD[3: 0]: LCD 像素数据输出端口。

VD[7: 4]: LCD 像素数据输出端口。

LCD 控制器包含 REGBANK, LCDCDMA, VIDPRCS, 和 TIMEGEN。REGBANK 具有 18 个可编程寄存器，用于配置 LCD 控制器。LCDCDMA 为专用的 DMA，它可以自动地将显示数据从帧内存中传送到 LCD 驱动器中。通过专用 DMA，可以实现在不需要 CPU 介入的情况下显示数据。VIDPRCS 从 LCDCDMA 接收数据，将相应格式（比如 4 / 8 位单扫描和 4 位双扫描显示模式）的数据通过 VD[7: 0] 发送到 LCD 的驱动器上。TIMEGEN 包含可编程的逻辑，以支持常见的 LCD 驱动器所需要的不同接口时间和速率的要求。TIMEGEN 部分产生 VFRAME, VLINE, VCLK, VM 等信号^[29]。

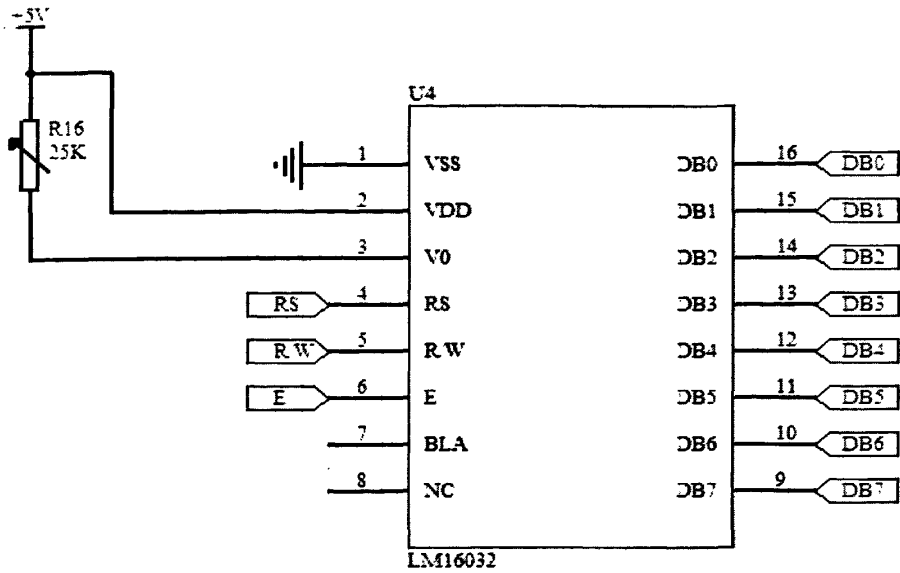


图 2.7 LCD 连接原理图

1、LCD 连接原理图

如图 2.7 所示，LCD 的数据库控制采用 8 位并行控制，这样提高了系统的运行速度和抗干扰性，使得控制简单方便。图中 R16 是一个可调电阻,主要是为了调节 LCD 的背光光源,这样可以根据具体的环境选择合适的阻值。RS,R/W 以及 E 接 MCU 的 I/O 口,主要是为了模拟接口信号时序。因为这款 LCD 内部已经集成了 LCD 驱动器并且内部集成了中文字符库等，因此这样的连接方式属于间接控制方式。只要在 MCU 程序中模拟 8 位并行接口信号时序便可以方便简单的控制。

2、LCD 模块组合功能及指令集

8 位并行接口信号信号组合主要组合功能与指令集如表 4-2 所描述。

表 2-2 接口信号组合功能(部分)

操作	RS	R/W	E	功能说明
写寄存器指令	0	0	下降沿	写指令到寄存器
写数据操作	1	0	下降沿	写显示数据

如表 2-2 所示,MCU 与 LCD 的数据流向是单向的(MCU 流向 LCD),因此,实际上的组合功能只要写寄存器指令和写数据操作即可。注意的是在模拟这两项功能时序的时候要适当的延时,可根据 MCU 的执行周期速度等指标进行相应的

延时^[30]。

2.5 本章小结

本章首先介绍了电能计量理论，接着介绍了该电能表在系统中的位置、详细介绍了本系统中几个重要的外围硬件模块：电源模块、信号输入、电量计量、CAN通信模块和LCD显示模块的设计。从而为智能电网网络终端实现高速双向、先进传感和测量、控制方法以及决策创造了物质条件。

第三章 用户用电模式构建

人类一直都是具备生活规律的物种。在古代社会，人们日出而作，日落而息，日复一日，年复一年的这样规律的生活。在现代社会，随着科学技术的发展，古代农耕生活已经不复存在。人造光源的发明，更使人们生活越发精彩，一天活动的时间也大为增长，但是并不能改变人类作为具有生物钟物种的事实。人类每个人都有自己独特的生活规律，这种生活规律时时刻刻潜意识的影响着人类每天的行为。

因为人类的生活活动中隐藏着特定的生活规律，所以与人活动相关的一些消费也同样也会呈现规律性，比如居民日常电能消耗。所以根据这一特性，建立用户用电行为模式完全可行。

3.1 用电需求分析

居民用电需求有三种特性：1、时间特性；2、物理特性；3、经济特性。智能电网中，为了合理的调整电价，就必须综合考虑电网本身和各类用户需求的特性，使各种资源得到最优化的利用。

多用户电能表系统，适用于工业大用户用电计量，同样也使用于日常用户的用电计量。一般来说对工业大用户和普通居民的需求特性分别如下：

本文可以从用户类别上分析负荷曲线特性。如图 3.1 中所示，假如表示为某重工业用户连续三班制生产时的，功率变化曲线，本文可以看出其变化相对平坦，峰谷负载差距不大；又如图 3.2 中所示，为一普通生活用电的日需求变化曲线，该特点是有明显的峰谷负载差距。由此本文可以推知，对于工业生产来说，耗电平稳，时间特性不明显；但是对于日常生活用电，却是波动性很大，在这个图中可以明显看出，时段因素对居民生活用电影响明显。

同样可知，在双休日和大的节假日，居民日常用电会明显高于平时。因此居民消耗的电能，在这个时候也会发生突变。

本设计的电能表会在每天特定时间，计录用户当天所消耗的电能，并保存起来。即，一个月内有 30 天，就有 30 个数据。本文根据前几个月的数据，找出其

中的规律，构建用户用电行为模式算法，对以后的短时间内一天或者几天的电能消耗进行预测。并上传至用电管理中心，便于电力配送。

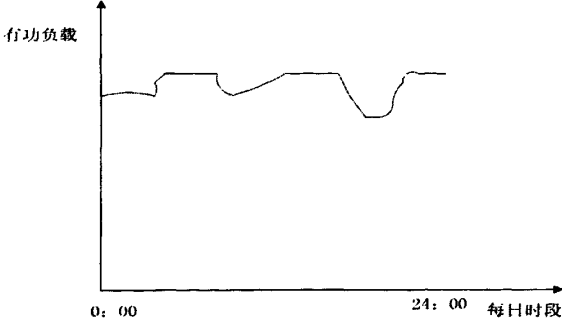


图 3.1 工业大用户功率变化图



图 3.2 普通居民功率变化图

在本系统中，每天并记录用户的消耗的电能大小。根据当天和前几各月保留的数据，进行用户电能消耗的用户行为模式分析，并预测下一天或者几天的用户电能消耗。在这里本文采用模糊建模的方式解决用户用电行为预测问题，其算法如下。

3.2 算法描述

电能表每天记录用户当天消耗的电能，从长时间上看，所有的数据可以看成是一个时间序列。

设用户用电行为模式对象为 $U(x, y)$, x 为系统模型输入，即采样的电能功率序列和其他参数； y 为系统输出，即预测的消耗电能；定义域的范围为 $x \in R^n$ 且 $y \in R$ ，现在设，存在有 C 条具有下列形式的模糊隐含规则。

可得：式 R^i 表模式的第 i 条规则。又设存在： $x_1 = A_1^i$ ； $x_2 = A_2^i$ ；.....； $x_n = A_n^i$ ；本文可以得出下列等式：

$$y^j = c_0^i + c_1^i x_1 + c_2^i x_2 + \dots + c_n^i x_n \quad (1)$$

已知： x_1, x_2, \dots, x_n 为模式的输入变量值，而 $A_j^i, 1 \leq i \leq c, j=1, 2, \dots, n$ 为输入变量的隶属函数，

而描述这些隶属的参数也称为输入参数；其中 $c_k^i, k=1, 2, \dots, n$ 为终结参数。又，高斯隶属函数如下：

$$\begin{aligned} A_j^i(U_{j1}^i, U_{j2}^i, U_{j3}^i) &= e^{-((x_j - u_{j1}^i)/u_{j2}^i)^2 / u_{j3}^i} \\ &= e^{-(((x_j - u_{j1}^i)/u_{j2}^i)^2) / u_{j3}^i} ; \quad U_{j1}^i, U_{j2}^i \in R \text{ 和 } 0 < U_{j3}^i \leq 5 \end{aligned} \quad (2)$$

式 (2) 中的 u_{j1}^i 为中心隶属函数，而 u_{j2}^i 为控制属函数的宽度； u_{j3}^i 为控制属函数的形状。选择 (2) 公式比较适合于计算。

又设：

$$\lambda_i = T(A_1^i, A_2^i, \dots, A_n^i), \quad \beta_i = \lambda_i / \sum_{k=1}^c \lambda_k \quad (3)$$

式 (3) 中的 T 为范式算子；这里使用的也是乘积的 T 范式算子。

β_i 为第 i 条规则的激励方式，且满足下列条件：

$$0 \leq \beta_i \leq 1; \quad \sum_{i=1}^c \beta_i = 1$$

又，用中心去模糊化方式，可以得到输出等式为：

$$y = \sum_{i=1}^c \beta_i y^i \quad (4)$$

又，定义：

$$F = (A_1^1, A_2^1, \dots, A_n^1, A_1^2, A_2^2, \dots, A_n^2, \dots, A_1^c, A_2^c, \dots, A_n^c) \quad (5)$$

$$\theta = [C_0^1, \dots, C_0^c, C_1^1, \dots, C_n^c, C_n^1, \dots, C_n^c]^T \quad (6)$$

上式的模型可以用：

$$S = S(F, \theta, X, y, prod) \quad (7)$$

公式 (7) 中 F 为模型的输入参数结构空间的集合，也是模型的结论参数集合，X 和 y 分别为系统的输入和输出，*prod* 为积乘 T 范式算子^[31]。

3.3 模糊模式辨识

3.3.1 确定输入参数

建立公式 (1) 所示的用户用电行为模型，先要做的工作是必须要确定系统模型的输入变量，主要是确定用户用电行为模式的时间序列的阶次。

如果要确定函数输入变量的问题；一般采用两种方法：第一种是基于先前经验和知识的方法，即已有的数据-知识和经验然后分析其中的规律、在综合现象，然后归纳算法。已确定下模式的输入变量。很显然这种方式相对比较简单。第二种是基于启发式的方法。也是这是一种关于一定定量的方法。在这个方法中，需要运用启发式的搜索过程中，比如加入遗传算子或者交叉变异等等。需要算法比较计量当前输入系列变量组合的性能值。对此可以很显然的知道，这个方法需要的计算量相当庞大。因此本文为了便于计算，所以选择第一种方法^[32]。

通过仔细观察用户用电行为，可以知道用户电能消耗有一定的周期性，最小周期约为 1 个星期左右。当然，时间序列也具有趋势性。即前一时刻数值或多或少会影响下一时刻的数值。用户电能消耗的数值序列变化大，而且不平稳，尤其在双休，或者节假日，电能损耗会发生突变。又以上序列可知： $Y(t-1)$ 、 $Y(t-2)$ 、... $Y(t-14)$ 。前面 7 个输入变量，大致可以反应用户用电行为模式的周期性。而后的 7 个的输入变量在一定程度上反映输入信号的某些性质。

建立用户行为模式，由于实时的输入，相当于在建立一段调整的动态系统。用户用电能耗的预报相同样当于一个自由运动动态系统。根据生活经验，生活环境的温度是影响用户用电的一个重要因素，为此，本文可以把前四天的温度和未来三天的温度信息作为系统的输入变量，因此，本文中的用户用电行为输入变量就达到 21 个^[33]。

3.3.2 确定输入变量空间的模糊分割

公式（1）建立的用户行为模型虽然形式上比较简单，但是却具有任意逼近性质。在行为模式构建的基础上，到底应该引入多少条规则，最为恰当，目前没有一种理论解释说明。因此，本文只有通过输入空间的模糊分割来确定范围了。

在本系统中，是采用散射分割法，比如在本模型中如果 $N=21$ ，可知，如果本文每个变量的模糊集输入变量个数为 2 个，那么就有 $C=2^{21}$ 个，这个数据相当庞大，无法计算。

为此，本文的散射辨识结构要达到系列目标：

- 1、每个规则结论线性模型，近其可能逼近系统的局部区域；
- 2、有良好的全局逼近性；
- 3、有好的初始参数；

本算法提供下列空间分割方法，假如，设给定 L 个样本：

可知， $\{T_1, T_2, \dots, T_L, T_k = \{X_k, y_k\} \in R^{n+1}\}$ ，那么定义 U 隶属矩阵，可知元素 $\mu_{ik}(T_k)$ 表示第 k 个数据 T_k 属于第 i 类程度。

(1) 又知设置聚类数 $c(c \in N^+)$ ，模糊参数 $m(m = \in [1; \infty])$ ，用 $FCRM$ 方法得到 U 的初始矩阵，设 $L=1$ ；

(2) 可用最小二乘法求 $\min J_1 = \sum_{k=1}^l (y_k - \sum_{i=1}^c \mu_{ik} y'_k)^2$ 的最小相量 θ 值，且 $\beta_{ik} = \mu_{ik}$ ；

(3) 满足下列公式，并更新矩阵 U ， $\min J_2 = \sum_{k=1}^c (\mu_{ik})^m d_{ik}^2$ ：

$$\text{则：令 } I_k = \{i | 1 \leq i \leq c; d_{ik} = \|y_k - y'_k\| = 0\} \quad (8)$$

$$\tilde{I}_k = \{1, 2, \dots, c\} - I_k \quad (9)$$

$$I_k = \emptyset \Rightarrow \mu_{ik} = 1 / [\sum_{j=1}^c (d_{ik} / d_{jk})^{2/(m-1)}] \quad (10)$$

$$I_k \neq \emptyset \Rightarrow \mu_{ik} = 0 \quad \forall i \in \tilde{I}_k \quad \text{且} \quad \sum_{i \in I_k} \mu_{ik} = 1 \quad (11)$$

(4) 如果 $\|U^L - U^{(L-1)}\| \leq \varepsilon$ ，停止；反之 $L=L+1$ ，回到第 (2) 步。

3.3.3 系统参数的辨识

上面的得到的模型是个极为粗糙的结构。为了进一步提高模型的预测能力，本文必须调节输入参数和结论参数。

1、参数的初始化

从公式 (2) 和公式 (7) 可以推知，要调节用户用电行为模型的调节参数 $u_{jl}^i (j=1, 2, \dots, q \text{ 和 } l=1, 2, 3)$ 和 θ 的值。但是 $u_{jl}^i (j=1, 2, \dots, q \text{ 和 } l=1, 2, 3)$ 本文并不知晓。但是本文可以知道下列初始化方法：

$$U_{j1}^i = \frac{\sum_{k=1}^l \mu_{ik} x_{ik}}{\sum_{k=1}^l \mu_{ik}} \quad (12)$$

$$U_{j2}^i = \sqrt{\frac{2 \sum_{k=1}^l \mu_{ik} (x_{ik} - U_{j1}^i)^2}{\sum_{k=1}^l \mu_{ik}}} \quad (13)$$

$$U_{j3}^i = 2 \text{ or } 3 (i=1, 2, \dots, c, j=1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

求解。

3.3.4 调节参数算法

本系统采用的是混合模型学习的参数算法，先用梯度算法来调节模型中的非

线形参数，然后再用最小二乘法调节 θ 值。使参数得到优化，收敛加快。可以极大的提高模糊建模的效率^[34-35]。

3.4 本章小节

本章主要是利用智能电能表的现场优势，为每个用户构建用电消耗行为的模式，进行电能消耗预测，本章运用模糊算法的形式来构建，虽然不是很理想，但是在一定程度上满足了用户电能预测的精度。

第四章 智能电表软件设计

本章先介绍了电能表的软件功能和嵌入式系统环境的搭建，如：CPU和存储器，然后进行适用于电能表的u-boot和内核的移植，接着进行驱动设计、主程序设计和消费预测算法实验分析。

4.1 多用户电能表软件功能设计

系统硬件设计完成后，就可以开始进行软件设计了，本系统的软件是在嵌入式系统环境下设计的，程序分信号采样、用电量等数据接收与处理程序，用户通断电控制程序，CAN 通信程序，GPRS 拨号程序程序，电能表显示程序，数据存储程序，电能表状态检测程序等几部分组成。系统软件所要实现的功能如下：

- (1) 电流电压信号采集、断电控制的功能。
- (2) 实现 CAN 模块通信数据的功能。
- (3) 实现 GPRS 模块通信拨号上网和收发短信的功能。
- (4) 存储电量数据和参数、时钟设置读取等功能。
- (5) 实时显示各种参数电量。
- (6) 能够检测到电能表的异常信息、上传报警的功能。
- (7) 进行用户用电行为分析，调整费率等。

上述任务在处理的过程中，应能尽量保证各个任务处理的实时性，并且各个任务在操作共享资源时应能不造成冲突

4.2 嵌入式系统环境设计

电能表的软件设计必须考虑到系统CPU的处理速度、存储器资源的大小等硬件条件。本系统的软件设计是在uClinux嵌入式系统基础上进行的，它充分利用了uClinux实时内核等资源优势。本论文设计的电能表的CPU是具有ARM7TDMI内核的S3C44B0X芯片组，存储器件有：SST39VF1601线性flash存储器，HY57V641620同步动态存储器。K9F2808海量存储器。因为CPU强大的处理速度，以及有足够大的存储空间，本文完全可以加载嵌入式操作系统并在它基础上进行

软件设计。

4.2.1 S3C44B0X 的资源

韩国三星公司生产的S3C44B0X芯片组是16/32位的ARM处理器，是为一般的嵌入式系统应用和手持设备提供了高性价比和高性能的微控制器解决方案。为了降低成本，S3C44B0X系列芯片提供了丰富的内置部件，例如：

- 1、8KB Cache；
- 2、可选内部SRAM；
- 3、液晶LCD控制器；
- 4、带自动握手的2通道UART；
- 5、4通道DMA；
- 6、系统管理器（片选FP/EDO/SDRAM控制器）；
- 7、带PWM功能的5通道定时器、I/O端口、RTC；
- 8、8通道10为ADC、IIC总线接口、IIS总线接口；
- 9、同步SIO接口和PLL倍频器；

S3C44B0X采用ARM7TDMI内核，以0.25um工艺的CMOS标准宏单元和存储编译器。它低功耗、精简、出色而且全静态的设计特别适用于成本和功耗敏感的应用。同样S3C44B0X还采用了一种新的总线结构，即SAMBALL(SAMSUNG ARM CPU嵌入式微处理器总线结构)。S3C44B0X的非常显著特性是它的CPU核，是由ARM公司设计的16/32位的ARM7TDMI RISC 处理器（66MHZ）ARM7TDMI体系结构的特点是它集成了Thumb代码压缩器，一个片上ICE断点调试支持和一个32位的硬件乘法器。S3C44B0X提供全面的，通用的片上外设，大大减少了系统电路中除处理器以外的元器件配置，从而最小化系统的成本。

S3C44B0X提供丰富的存储系统接口，对多种存储器结构提供硬件支持，S3C44B0X的存储系统具有以下主要特性：

- (1) 支持数据存储的大/小端硬件选择；
- (2) 支持8个存储体bank0-bank7，每个存储体可高达32M，总寻址空间可高达256MB；
- (3) 可对所有存储体访问的总线宽度可定义为8位、16位或32位；
- (4) 在8个存储体中，Bank0-Bank5可支持ROM, SRAM; Bank6, Bank7可支持ROMSRAM的FP/EDO/SDRAM等；
- (5) 对所有外围存储体的访问周期可编程^[35-36]；

4.2.2 存储器简介

1、SST39VF1601 简介

SST39VF1601是2MB的Nor Flash，线性flash存储器单元，典型的可擦写次数是10万次，保存数据长达100年，采用CMOS工艺超低功耗设计，速度为70-90ns，支持快速擦除、扇区擦除等指令，非常适合在嵌入式系统中代替ROM存放代码或存放重要数据等。具体时序及操作指令详见SST39VF1601的数据手册^[37]。

SST39VF1601与S3C44B0X的接口电路简单，因为Bank0是系统自启动的ROM存储体，所以S3C44B0X的nGCS0和SST39VF1601的片选立/CE相连，并要通过OM0和OM1端来配置Bank0的总线宽度。本系统中总线宽度为16位，所以OM1接高电平而OM2接低电平，选用2MB字节的SST39VF1601，16位数据总线，片选接NGCS0，CPU分配给它的地址空间为0x00000000—0x001fffff,也就是S3C44B0X CPU的bank0区。启动代码部分则放在从0x00000000开始的地址空间内。程序代码可以在里面执行。

2、HY57V641620 简介

HY57V641620是8MB的同步动态存储器单元，分为4个Bank，每个Bank 2M字节，非常适合大密度内存和大数据带宽的要求。HY57V641620在时钟上升沿实现全动态操作，所有的输入和输出在输入时钟的上升沿得到同步，其时钟频率高达100MHz^[38]。nGCS6做为SDRAM的片选信号，把HY57V641620的地址空间定位在Bank6内，地址范围为0x0C000000—0x0C7fffff。

3、K9F2808简介

K9F2808为海量存储器，8位数据总线传输^[39]，GPC9接其片选信号，CPU分配给它的地址空间为0x04000000—0x005fffff，也就是S3C44B0 CPU的bank2区。GPE0接NAND_FLASH的状态监测脚，GPC14接ALE地址锁存使能，GPC15接CLE命令锁存使能。NGCS2也接入该单元。

4.3 uCLinux 操作系统

国外现有的嵌入式操作系统如Vxwork，QNX，Windows CE等已经比较成熟了。但自从1991年Linux问世以来，在短短的十几年时间内已经发展成为功能强大、设计完善的操作系统之一，它不仅可以与各种传统的商业操作系统分庭抗争，而且在新兴的嵌入式操作系统领域内也获得了迅猛发展。

4.3.1 uCLinux 简介

嵌入式Linux操作系统以微内核体系结构设计,一个功能完备的Linux内核只要求大约1MB内存,而且Linux微内核只占用其中很小一部分。各种网络和文件系统以模块形式置于内核的上层,驱动程序和其它文件可在运行时作为可加载模块编译到或者是添加到内核中;这些优势为构造定制的嵌入式系统内核提供了高度模块化的构造方法。

Linux在嵌入式系统市场上取得如此巨大的成果,与其本身的优良特性是分不开的。其优越性有以下几点。

1、支持多种硬件平台

Linux能够支持ARM,x86, MIPS, ALPHA等处理器体系结构。甚至可以在没有存储管理单元(MMU)的处理器上运行,这一优点极大的进一步促进了Linux在嵌入式系统中的应用。

2、内核可裁减

Linux内核设计非常精巧,它分为五个大的部分:进程调度、进程间通信、内存管理、虚拟文件系统和网络接口。其内核独特的模块机制,用户可以根据需求实时地将某些模块裁减到内核中去。这一特性使得uCLinux内核可以裁剪得非常小巧,特别适合于资源相对缺乏的嵌入式系统的需要。

3、源码开放

Linux操作系统为用户开发提供了最大限度的自由,由于各种嵌入式系统产品千差万别,往往需要针对具体细节的应用进行修改或者优化,因而获得操作系统源码就变得至关重要。在Linux系统上,开发嵌入式应用软件,一般不需要从零做起,而是只选择一个类似的自由软件做为原型,把它移植到嵌入式Linux系统中再进行二次开发即可。

4、具有优秀开发工具

嵌入式Linux系统为开发者提供了一套完整的开发工具链(Tool Chain),即,GNU的gcc编译器,gdb,kgdb,xgdb做调试工具,所以能够很方便地实现从操作系统到应用软件各个级别的调试。

5、具有完善的网络和文件管理机制

Linux支持所有标准的Internet网络协议,并且很容易将网络功能移植到嵌

入式系统当中。而且 Linux 系统还支持：fat16,fat32,xt2,ext3,romfs,ramfs 等多种文件系统，这些优点都为开发嵌入式系统应用打下了良好的基础^[40]。

uClinux 它是专门针对没有 MMU 的 CPU 的操作系统，它从 Linux2.0/2.4 内核派生而来，所以沿袭了 Linux 的绝大部分特性。该系统通常应用于具有很少内存或 Flash 的嵌入式系统中。可以在 www.uclinux.org 网站免费下载 uCLinux 各种版本的源代码和完整的开发工具链。

(1) uClinux 系统的基本架构

uClinux 系统的各部分基本架构，以及在逻辑上的相互依赖关系如下图 3.2，其具体分析如下：

BootLoader: 这部分为引导加载程序，主要运行任务就是将内核映象从硬盘上读到 RAM 中，然后跳转到内核的入口点去运行，也即开始启动操作系统。

内核初始化: 内核入口点 start kernel()函数主要作用是初始化内核的其它部分，其中包括设备驱动、调度、捕获、IRQ 通道、标定延迟循环，最重要的是能够 fork"init"进程。

系统调用函数/捕获函数: 处理异步事件(例如硬件中断等)和为系统调用提供必要进程。

设备驱动: 设备驱动可以嵌如 uCLinux 内核中。所有系统的三种设备驱动都是由一组函数与若干私有数据组成，其中绝大部分函数是为它们所代表的硬件设备为操作系统提供接口。

文件系统: 多采用 romfs 文件系统做为 uClinux 根 root 文件系统，romfs 是占用存储空间较少的文件系统，是只读的文件系统，所以禁止写操作。近年来日志文件系统在 uClinux 系统上也得到了较多的应用，其中以支持 Nor Flash 的 JFFS、JFFS2 日志文件系统和支持 nand Flash 的日志 YAFFS 最为流行。这些文件系统都支持掉电保护，同时也支持内存技术设备(MTD)驱动。

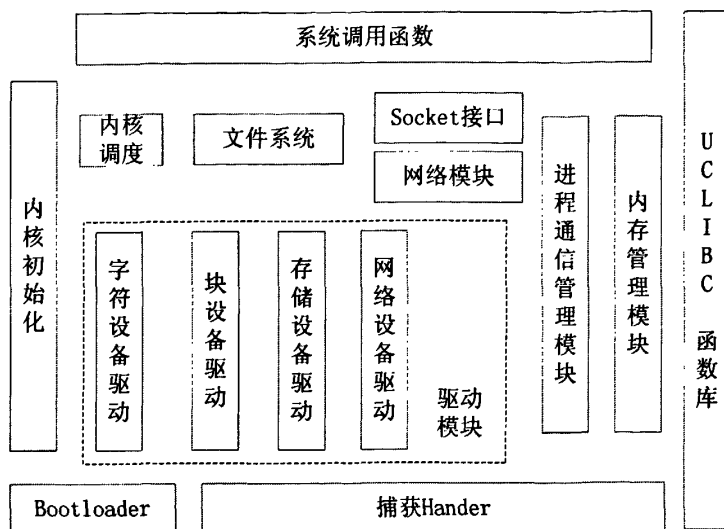


图 3.2 uClinux 的基本架构

内存管理：uClinux 系统是专门针对没有 MMU (MMU-Less)的处理器而设计的嵌入式操作系统，即 uClinux 系统无法使用处理器的虚拟内存管理技术。uClinux 通过地址总线对物理内存进行直接访问。系统中所有程序访问的地址都是实际的物理地址，所有的系统和用户进程都在一个存储空间中运行(包括内核进程)。

进程管理：uClinux 没有 mmu 管理存储器，在实现多个进程时（fork 函数调用生成子进程）需要实现数据保护。uClinux 的多进程管理通过 vfork 函数来实现。uClinux 系统 fork 调用完程后，要么子进程代替父进程执行（此时父进程已经 sleep）直到子进程调用 exit 退出，要么调用 exec 执行一个新的进程，这个时候将产生可执行文件的加载，即使这个进程只是父进程的拷贝，这个过程也不能避免。当子进程执行 exit 或 exec 后，子进程使用 wakeup 把父进程唤醒，父进程继续往下执行。uClinux 的这种多进程实现机制同它的内存管理紧密相关。uClinux 针对 nommu 处理器开发，所以被迫使用一种 flat 方式的内存管理模式，启动新的应用程序时系统必须为应用程序分配存储空间，并立即把应用程序加载到内存。缺少了 MMU 的内存重映射机制，uClinux 必须在可执行文件加载阶段对可执行文件 reloc 处理，使得程序执行时能够直接使用物理内存^[41]。

uClibc 函数库：uClibc 是对 Linux 的 libc 库做了精简，方便对用户程序采用静态形式连接。

(2)构建 uClinux 嵌入式系统的开发环境

uCLinux 的官方网站 www.uclinux.org 下载 GNU 开发套件, 其中 gcc、Binutils、bjdump、as、ld、gdb、gdb-bdm、gdbserver。

嵌入式 uCLinux 系统开发平台也可以从 uCLinux 官方网站下载 ARM 交叉编译器 arm-elf-tools-20030314.sh, 以 root 根用户登陆, 并运行 shell 指令, 即 sh arm-elf-tools-20030314.sh, 即, 安装 ARM 交叉编译器。

4.3.2 uCLinux 嵌入式软件系统移植

从软件的角度看, uCLinux 系统分为四个层次: 1、Bootloader; 2、嵌入式 Linux 系统内核; 3、文件系统; 4、用户应用程序。

Bootloader 引导程序是嵌入式系统中非常重要的组成部分, 如果要移植 uCLinux 操作系统, 首先要进行针对系统的 Bootloader 移植^[42]。

1、u-boot 引导程序移植

嵌入式操作系统启动时, 首先必须运行的 Bootloader 的引导程序, Bootloader 引导程序的基本功能是先进行硬件的初始化: 1、CPU 的主频; 2、SDRAM/Flash; 3、串口; 4、中断; 5、内核启动参数的设置; 6、启动内核。

一些功能强大的 Bootloader 还可以和主机进行交互信息, 可以从 usb 口、串口、网络口下载映像文件、可以对 Flash 等存储设备进行管理; U-boot 就是其中的代表。

u-boot 源代码可以从 sourceforge.net/projects/u-boot 下载。

u-boot 移植本文所要做的工作是对其进行系统板级移植。将移植 u-boot 到自己的系统板上, 可以依照以下主要几步:

第一步: 在目录下: .../board/目录下创建新的目录文件

第二步: 修改顶层目录中的 Makefile 和 MAKEALL 两个文件内容, 增加对新的系统板的描述以及指定 CPU 和系统板对应的代码文件目录。

第三步: 在.../include/configs/文件目录下创建系统板配置文件 CGMeter.h。

第四步: 编译

本文将编译好的 u-boot.bin 通过并口 JTAG 下载到目标板 Flash 中, 为引导 uCLinux 做好准备^[43]。

2、uCLinux 内核代码的组织结构

可以从 uCLinux 的官方网站下载 uCLinux-2.4.20-uc0 版本, 该版本 uCLinux 的

内核目录如下：Arch、Documentation、Drivers、Fs、Include、Init、Ipc、Kernel、Mm、Mmnommu、Net、Scripts^[44]。

3、对 S3C44B0X 处理器移植 uClinux 内核

第一步：uClinux-dist 源码包的准备

如果本文的目的是把 uClinux-2.6.9 版本移植到目标平台上。

那么必须在网上下载以下文件：uClinux-dist-20041215.tar.gz、linux-2.6.9.tar.bz2、linux-2.6.9-uc0.patch、linux-2.6.9-uc0.hsc0.patch。然后在 Linux 系统环境下解压。将 Linux-2.6.9.tar.bz2 打上补丁文件，并将打上补丁的 2.6.9 内核改名为 linux-2.6.x 并替换在 uClinux-dist 包中的 linux-2.6.x，完成移植前的准备工作。

第二步：对 uClinux-dist 源代码修改

a、在 linux 环境下拷贝文件：`#cp uClinux-dist/vendors/Samsung/4510b -r uClinux-dist/vendors/Samsung/44b0[39];`

b、将 s3c44b0x_defconfig 文件复制到 44b0 目录下；

(1) 打开 linux-2.6.x/arch/armnommu/arch/kernel/vmlinux.lds.S 文件夹，并且添加下列内容：

```
(.got) ? Global offset table
```

```
romfs_start = .;
```

```
romfs.o
```

```
romfs_end = .;
```

(2) 修改 linux-2.6.x/arch/armnommu/kernel/setup.c 文件，添加两个变量 romfs_start,romfs_end

(3) 修改目录 vendors/Micetek/44b0/rc 文件中 /bin/expand /etc/ramfs.img /dev/ram1;

c、uClinux 系统内核的配置与编译

运行 make menuconfig 指令，内核程序会依次出现开发依次出现平台选择、内核选择、文件系统选择、应用程序的等配置界面，本文可以根据需要进行配置。

在依次配置好内核后，依次执行以下几个命令：make dep、make clean、make lib_only、make user_only、make romfs、make image。make 编译完成之后，会

在 uClinux-dist/linux-2.6.x/下会生 linux.bin 执行文件,同时在 uClinux-dist/images/下会生成 linux.data、linux.text、image.bin 等目标文件。在编译中可能会产生错误,需要根据错误信息进行调试修改^[45]。

d、嵌入式内核下载和运行

(1) 本文将前面生成好的 u-boot 的目标执行文件 u-boot.bin,通过 JTAG 接口烧写到目标硬件平台上时,烧写时的开始地址必须是从 0 开始,因为目标板上电后,都是从 0 地址处运行就开始运行,只有在 0 位置,才能刚好运行移植好的 bootloader。

(2) 接着可以通过 u-Boot 的命令 tftpboot,来下载本文编译好的内核,比如:用指令 tftpboot 0x0c008000 linux.bin; go 0x0c008000。

本文通过以上两个步骤就可以实现了 uClinux 的下载运行。系统上电启动后,首先执行的是 bootloader 引导程序,在完成了各种硬件设备的初始化工作后,将程序运行的控制权交由了 uClinux 内核,这样 uClinux 嵌入式系统就开始运行了。

4.4 uClinux 操作系统下的设备驱动设计

设备驱动程序是操作系统内核与硬件之间的接口程序,uClinux 系统设备驱动程序的目的是为应用程序屏蔽了某些硬件的细节。对于所有的应用程序来说,嵌入式系统的硬件设备只是设备文件,应用程序完全可以像操作其他普通文件一样对硬件设备进行读写控制操作。

4.4.1 uClinux 系统下的设备驱动

设备驱动程序主要是先完成对硬件设备的初始化、然后把操作数据从内核传送到硬件系统或者从硬件读取数据传送应用程序等等。

uClinux 系统的驱动程序一般都是被直接编译到系统内核中。这样可以减少内存消耗。uClinux 系统下有 3 类主要设备驱动:字符设备、块设备、网络设备。

字符设备驱动是指存取时没有缓存的设备。在一个现实的嵌入式系统中,字符设备往往是占绝大多数。本系统设计中的 LCD 驱动、GPRS 驱动、CAN 驱动、通断电控制等都属于字符设备驱动。下面简述字符设备驱动程序的相关内容。

1、主设备号和从设备号

uClinux 系统中是使用设备号来标识字符设备。主设备号标示对应的驱动程

序。每个字符设备驱动程序都有唯一的主设备号。而次设备号只由该设备驱动程序使用，内核的其他部分不使用，仅将它传递给该驱动程序。驱动程序可以按照自己规定的方法使用从设备号。通常情况下，字符设备驱动程序使用从设备号区分自己管理的不同物理设备，所以，由主设备号和从设备号可确定当前内核支持的是某个具体的物理设备。

所以向系统增加一个驱动程序意味着要赋予它一个主设备号。一旦设备成功注册到内核表中，则无论何时操作系统与设备驱动程序的主设备号匹配的设备文件，内核都会调用系统驱动程序中的正确函数。

2、uCLinux 驱动程序的基本函数

`init_module()`为初始化函数，初始化函数用来初始化驱动程序，如果其返回值为负数时，表示出错，负数错误编码在<linux/errno.h>中定义。函数 `register_chrdev(MAJOR_NR, DEVICE_NAME, &test_fops)`用来注册字符设备驱动程序。如果调用这个函数，其实也就是所有变化的根源。该函数有 3 个参数。第一个参数为驱动程序的主设备号，第二个参数为驱动程序名称(字符串)，第三参数为结构体 `file operations` 指针，结构体保存该驱动程序操作字符设备的方法。

`cleanup_module()`为清除函数。uCLinux 在卸载模块时会调用驱动程序的清除函数。利用 `unregister_chrdev(MAJOR_NR, DEVICE_NAME)`通知内核对应的字符设备已被卸载。

`file_operations` 为保存设备信息的结构体。该结构体的定义如下所示。下列清单中仅列出部分常用的成员。但是对于普通的字符设备驱动程序，这些函数成员已足够。

```
struct file_operations
{
    struct module *owner;
    loff_t (*llseek)(struct file *,loff_t,int);
    ssize_t(*read)(struct file *,char *,size_t,loff_t*);
    ssize_t(*write)(struct file *,const char *,size_t,loff_t*);
    int(*ioctl)(struct inode *,struct file *,unsigned int,unsigned long);
    int(*open)(struct mode *,struct file*);
```

```

int(*release)(struct mode *,struct file*);
.....
}

```

在一个特定的驱动程序中，除 `open()`和 `release()`方法外，其他方法不是必须实现的。如果不需要实现某个方法，则不初始化它即可^[40]。

3、内核与用户空间交换数据

对于 uCLinux 来说使用：

`access_ok()`、`copy_to_user()`、`copy_from_user()`、`put_user()`和 `get_user()`。函数进行数据交换。

4、内核空间与 I/O 空间交换数据

对于 ARM 体系结构来说，并不区分 I/O 和内存的，它们在统一空间内，使用同样的指令访问。uCLinux 内核为了屏蔽这些差别，提供了宏给驱动程序访问 I/O。另外，在 `hardware.h` 文件中已定义了各寄存器的地址，这样宏中所用的 I/O 端口地址便可以直接使用寄存器的名称^[46]。

4.4.2 uCLinux 系统下设备驱动程序的使用

1、建立设备文件

使用驱动程序的目的是为了使用其设备。在 uCLinux 系统中，几乎把所用东西都当作文件，设备也不例外。每个设备都有对应的特殊文件。一般情况下，系统中应存在所需要使用的所有设备文件。所有的设备文件存储在 `/dev` 目录下。如果没有对应的设备文件，则用命令 `mknod` 建立设备文件。命令如下：

`mknod` 文件名称(可包含路径) c [主设备号][从设备号]。

2、加载驱动程序

本系统中的将驱动程序都编译成内核模块，所以这就必须把驱动程序加载到内核中才能被使用。加载内核模块的命令如下：

`insmod` 内核模块文件名(可包含路径)。

3、接口函数

系统内核在使用文件前必须打开文件，通过调用 `open()`函数打开文件。通过调用 `close()`函数关闭文件。通过调用 `read()`函数从文件读取数据，通过 `write()`函数将数据写入某文件。通过调用 `lseek()`函数改变文件读写位置。函数 `ioctl()`

是针对设备文件的。

4、编写 Makefile 文件

对于编写驱动程序与应用程序编译方法是类似的，只是相关的 Makefile 文件不同。该驱动文件的编写比较复杂，一个驱动中的源文件不计其数，其按类型、功能、模块分别放在若干个目录中，makefile 定义了一系列的规则来指定，哪些文件需要先编译，哪些文件需要后编译，哪些文件需要重新编译，甚至于进行更复杂的功能操作，因为 makefile 就像一个 Shell 脚本一样，其中也可以执行操作系统的命令^[47]。

4.4.3 在 uClinux 系统下的 CAN 驱动程序设计

以 CAN 驱动程序为例，CAN 驱动程序默认的主设备号为 254，没有从设备号，所以从设备号可任意选择，一般设为 0。CAN 驱动程序最首要的任务就是要实现通行的功能，先初始化 CAN 控制器的各种寄存器，其中包括 CAN 的模式寄存器、中断寄存器、验收代码寄存器、总线定时器、时间分频器等等^[48]。其中 CAN 的波特率设为 2400bps。下面简要讲述一下 CAN 驱动程序的关键函数。

1、CAN 驱动程序的初始化函数

```
int can_init (void)
{
    int result;
    result=register_chrdev(MAJOR_NR, DEVICE_NAME S3C44B0X_can_ fops);
    if (result<0)
    {
        printk("<0>" DEVICE_NAME": Unable to get major %d\n", MAJOR_NR);
        return (result);
    }
    printk(KERN_INFO DEVICE_NAME": init OK\n");
    return (0);
}
```

2、应用程序访问内核的接口的结构变量 can_fops。

```
static struct file_operations can_fops={
```

```

    read: can_read,
    write: can_write,
    open: can_open,
    release: can_release,
};

```

3. CAN 驱动程序的 open()函数^[49]

```

int can_open(struct mode *p_mode, struct file *p_file)
{
    int num;
    int result;
    num=MINOR(p_mode->i_rdev);
    if(TRUE!=S3C44B0_CANInit(num))
    {
        Printk (<0> S3C44B0X_CANInit Err!!.\n");
        return -ENODEV;
        result=request_irq(IRQ_CAN, can_irq_interrupt, SA_INTERRUPT, "my"
        DEVICE_NAME, NULL);
        if(result=0) { printk(<0> Interrupt Set OK!.\n" }
        else
            printk(<0> Interrupt Set Err! ErrCode=%d.\n", result);
        return result;
    }
    MOD_INC_USE_COUNT;
    printk(<0> " DEVICE_NAME"Opened!.\n");
    return(0);
}

```

4.5 主程序程序设计

本电能表软件程序分为三大部，第一部分为主程序，第二部分各类子程序；第三部分是中断服务程序，中断服务程序，如通信程序等，是由内部定时或外部

中断信号启动执行。

该电能表主程序负责智能电能表平时的工作，其流程如图 3.3，子程序包括电量计量、时钟读取、功率记录、数据保存、数据显示和掉电检测、用户用电行为分析等。

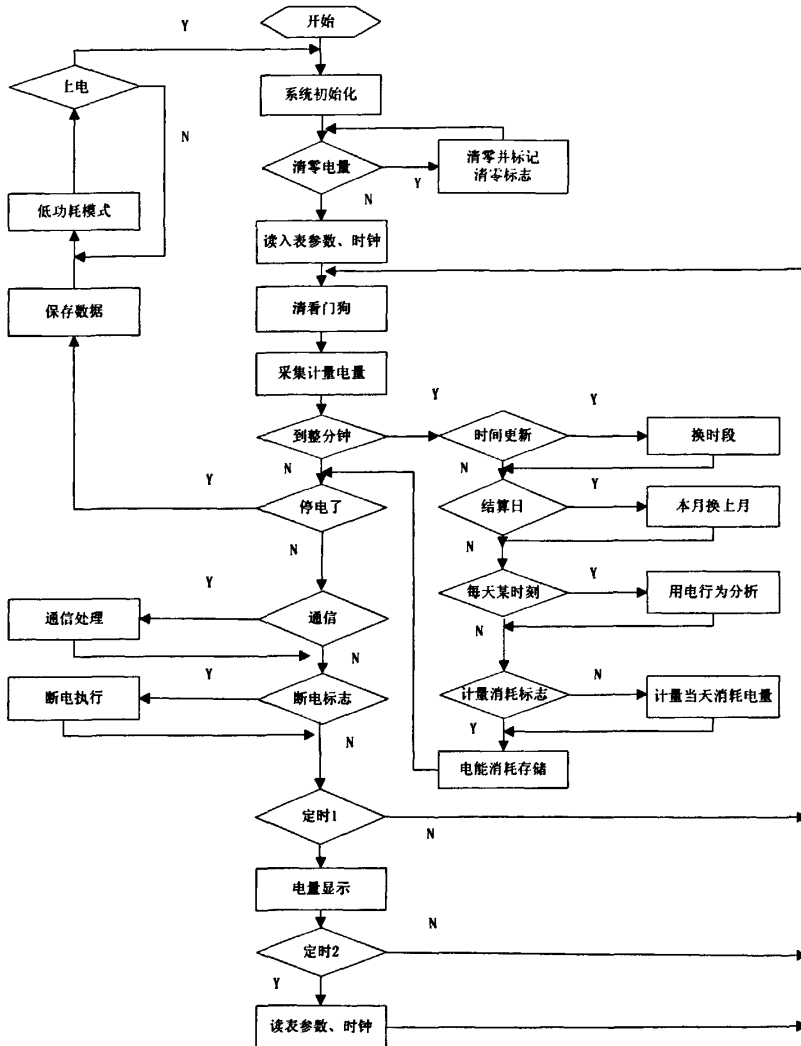


图 3.3 智能电表主程序框图

本系统主程序是个无限循环程序。电能表上电，程序开始运行，先进行系统初始化，包括清除内存、配置存储器、设置 CAN 通行波特率设置看门狗参数等；接着运行是否清零电量并设置清零标志；完成清除子电量程序后，读取电表参数和时钟参数，其中包括，读取每户原有电量数据、将时钟芯片中的时间信息读入内存等；接着程序清除看门狗子程序，即给看门狗一个信息，让主程序不会因此中断；然后主程序运行电量采集程序，将每户的现有消耗功率读入到 CPU 中进行处理并积分，算出每户单位时间内消耗的电量；接着询问是否到整分钟，如果到达整分钟，进行时间更新，并换时段，同时进行用户用电行为的处理，存储

当天电量等；反之，程序往下进行，询问是否停电，如果停电了，保存数据并进行低功耗模式；如果没有停电，程序往下进行入通信子程序，通信子程序包括 CAN 通信和 GPRS 通信；处理完通信子程序，查询问是否进行断电处理，将欠费用户的电源断开；当程序到定时 1 时，程序回到上面看门狗程序位置；反之，进行 LCD 电量现场显示，电量显示子程序完成后，再次读取电表和时钟参数，接着进入上面的看门狗子程序，这样程序循环进行，24 小时不断电的工作^[50]。

4.6 实验结果与分析

本文以多用户电表系统四个月的数据，即 120 个数据作为研究对象进行系统的实验。在本实验中，本文先对当时的温度数据进行预处理，然后得到用户用电行为日耗电量的平均序列，然后，把该数据的前面 60 个数据用于模糊建模，其余的 60 个数据用于预测验证，并采用用户用电消费行为预测，实现了多个规则下的不同的行为模式模型。得到的数据显示：如果所建立的模式规则 c 数量太小，则所建模式不能详细的反映真实模型。但是如果有太多规则，则会导致大量参数相互重合，达不到建模的目的。

表 4.1 为给出规则数为 3 时的用户用电行为模式，并预测在实验后 7 天的电能消耗量。实验表明，本系统设计的用户用电行为模式在某些精度上基本能达到要求。

表 4.1 实验数据

某用户一周内消耗电量						
实际电能消耗 (KW)	13.5	18.6	10.4	15.6	10.9	17.5
预测电能消耗 (KW)	14.4	16.6	14.6	13.7	14.8	16.4
偏差 (%)	6.7	10.8	40.4	12.2	35.8	6.3
时间	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7

4.7 本章小节

本章简述了 S3C44B0X 芯片和存储器芯片内容，并设计了它们的连接方式，进行了 u-boot 和 uClinux 内核移植，同时编写了 uClinux 系统下电能表的 CAN 通信的驱动程序，CPU 只需要调用文件一样使用驱动程序即可，接着设计了满足智能多用户电能表各项功能的主程序，最后进行了用户用电行为预测算法实验分析，实验结果基本达到要求。

第五章 总结

5.1 全文总结

发展智能电能表技术是提高用电管理水平的需要,也是适应现代智能电网技术迅速发展的必然趋势。在用电管理方面,采用智能多用户电能表管理系统,不仅可以节约人力资本、提高抄收表计准确性,还可以杜绝人情电、权力电现象,避免誊写造成帐单错误,同时使电网管理部门及时准确获得数据信息。

现代电子技术、通信技术、计算机技术的发展,使得设计一个具有人性化、廉价、可靠、时效性强、还具有能构建用户行为模式预测电能消耗的智能型电能表成为现实,因此本文设计了这样的一个智能多用户电能表。

首先对课题进行了需求分析,并制定了系统的整体设计方案,利用ARM-uClinux系统的丰富资源,设计实现了多用户电能表的软硬件部分。智能电能表充分利用了CAN与GPRS结合优势,即,电能表与用电管理部门之间数据实时传输用CAN通信方式,电能表与用户之间用户欠费提醒,电价实时预报用无线的GPRS通信方式。同时,利用了S3C44B0的强大功能构建用户用电行为模式,向用电管理部门进行用户电能消耗预报等。在完成了以上工作之后,对多用户电能表进行系统调试。各项调试结果都证明本文满足了课题所定的设计要求。

5.2 研究展望

(1) 用户用电行为的模式的改进

在课题进行当中,作者一步一步地完成了智能电能表各个功能模块,在此过程中,极大的增长了见识、获取了知识,同时极大的积累了宝贵实践经验。但是由于精力、时间限制,本系统构建的用户用电行为模式,准确度还是不太高,同时运行时间过长。因此可以在以后的工作中大力改进,如选用更快处理速度的CPU或者采用专用DSP器件,同时也需要采用更优秀的智能算法,提高收敛速度等。

(2) GPRS 技术的扩展

CAN 总线为有线通信,因此需要现场布专线,所以费用较高,不易改造。

而 GPRS 为无限传输方式，方便快捷。但实际应用中，受到网络布局的限制，同时实时也不行，所以本系统中只作为传送用户用电量的数据，和预报电价功能来用，这些数据量比较小。我们以后可以多做这方面的工作。同时，在后续的工作中，在 GPRS 技术基础上，本文也可以增加手机无线付费等功能。

(3) 安全问题

采用现代无线通信技术，虽然方便快捷，但同时也带来了数据安全隐患，可以在以后的工作中对其改进，如：加密技术运用到通信中等。

参考文献

- [1] 李继敏.多功能电能表的研制和电能计量算法的研究:[北京化工大学硕士学位论文].北京:2008, 2-8
- [2] 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].湖南:2004, 4-6
- [3] Cao, Liting, Jingwen.Remote Wireless Automatic Meter Reading System Based on Wireless Mesh Networks and Embedded Technology," Fifth IEEE International Symposium on Embedded Computing, Oct. 2008:192 -197
- [4] J.Newbury, W.Miller.Multiprotocol Routing for Automatic Remote Meter Reading Using Power Line Carrier System. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16(1): 1-5
- [5] Tian Yew Lim, Tat-Wai Chan.Experimenting Remote Kilowatthour Meter Reading Through Low-Voltage Power Lines at Dense Housing Estates. IEEE Trans. Power Delivery, 2002, 17(4): 708-711
- [6] 李剑.单相智能复费率电能表的设计与开发:[同济大学硕士学位论文].上海:2008, 9-13
- [7] 碧波,曾伟民.关于电能采集与计费系统的讨论.电力系统自动化, 1998, 22(11):70 - 73
- [8] 陶永法.电水气“一卡通”后勤综合收费管理系统的设计与实现.计算机软件与应用,2004(3):32-33,126
- [9] Nagaraju M, Praveen Kumar T.Networked electronic energy meters with power quality analysis. In: Power Quality '98 .Hyderabad, India. 1998. New York, NY, USA: IEEE, 1998: 45-47
- [10] Enrico Valigi, Eugenio di Marino.Networks optimization with advanced meter infrastructure and smart meters. 20th International Conference on Electricity Distribution Prague, 8-11 June 2009. 0562

- [11] 赵树延.新型三相复费率网络化智能电能表的研制.黑龙江电力,2006,28(4): 316-318
- [12] David G. Hart, Using AMI to realize the Smart Grid.IEEE Power and Energy Society 2008 General Meeting, 2008, 60(3):607-613
- [13] Dong-Joo Kang, Jong Hyuk Park.Intelligent Decision-Making System with Green Pervasive Computing for Renewable Energy Business in Electricity Markets on Smart Grid.Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking Volume 2009, 6 (4):523-527
- [14] Kim Seon Gu,Hur Seong.Smart grid and its implications for electricity market design.Journal of Electrical Engineering and Technology. 2010 (5)3: 1-7
- [15] 张有顺, 冯牛岗.电能计量基础(第二版).北京: 中国计量出版社, 2002:20-40
- [16] 刘华.无功功率的测量与多功能电能表数据管理:[河海大学硕士学位论文]. 南京:2004, 23-28
- [17] Michal Spivak, Sivan Toledo. Storing a Persistent Transactional Object Heap on Flash Memory, ACM SIGPLAN Notices, 2006, Vo141No7:22-23
- [18] 韩晓萍.GPRS 技术在电力远程抄表系统中的应用.电子测量与仪器学报,2005,19(4):81-84
- [19] 苏全.李从贵.基于无线通讯模块的 GPRS MODEM 的设计与实现.微计算机信息.2005.10-3:193-193
- [20] 方小马, 张松, 廖科.设计无线预付费电能表系统.电气时代, 2005, 8:100-101
- [21] 张丽丽.基于电力线载波的多用户智能电表的设计.电子技术, 2004, 4: 20-22
- [22] 鞠洪石,李书全,李世斌.关于电能表自动抄表系统的几点思考.电力设备, 2004,4: 8-10
- [23] National Semiconductor Corporation, LM2576 Date Sheet [M], 1999:2-6
- [24] National Semiconductor Corporation, LM1117 Date Sheet [M], 2004:2-5
- [25] 珠海炬力集成电路设计有限公司. ATT7022 用户手册[M],2004:3-23
- [26] 王田苗.嵌入式系统设计与实例开发-基于 ARM 微处理器与 uC/OS-II 实时操作系统[M].北京: 清华大学出版社, 2003,1-16,125-195
- [27] 王文彬.基于 ARM 的 CAN 总线电力远程抄表系统的研究:[西华大学硕士学

位论文].2008.5

- [28] 何国兴.LCD 显示器阶调复现曲线的函数表达.液晶与显示.2009:762-767
- [29] 金强宁,洪乙又,李慧芝,朱志军.基于Mini-LVDS技术的TFT-LCD彩色液晶显示屏的驱动研究及应用.光电子技术.2009:196-200
- [30] 侯殿有,刘晓光,吉鹤.嵌入式控制系统LCD 驱动问题研究.现代显示 2009:54-60
- [31] 张平安.电力市场价格的模糊建模预测.深圳信息职业技术学院学报.2005. 05:6-9
- [32] 黄海辉.一种周期时间序列的预测算法.计算机工程与应用.2006.05:71-73
- [33] 栗勤农.煤炭价格的时间序列模型分析与设计研究:[武汉科技大学硕士学位论文].2006, 10:6-11
- [34] 李雷,罗红旗,丁亚丽.一种改进的模糊 C 均值聚类算法.计算机技术与发展.2009, 12:71-73
- [35] 叶玉玲.模糊粗糙神经网络的结构与参数优化.系统工程与电子技术.2009.12:2988-2991
- [36] Samsung Electronics Co., Ltd.S3C44B0X Date Sheet [M], 2004, 2-4
- [37] Advanced RISC Machines ltd.ARM7 Date Sheet [M], 1994, 4-25
- [38] Silicon Storage Technology, Inc.16 Mbit (x16) Multi-Purpose Flash SST39LF160/SST39VF1601 Data Sheet [M], 2003, 3-17
- [39] Hyundai Electronics, HY57V641620HG 4Banks x 1M x 16Bit Synchronous DRAM [M], 2001, 1-12
- [40] 陈俊宏.Embedded Linux 嵌入式系统原理与实务[M].北京:中国铁道出版社, 2004,15-58,91-216
- [41] 刘峥嵘, 张智超, 许振山.嵌入式 Linux 应用开发详解[M].北京:机械工业出版社, 2004,1-28,192-221
- [42] 李善平, 陈文智等.边干边学-Linux 内核指导[M].杭州:浙江大学出版社, 2002,337-399
- [43] Maurice J.Bach.The Design of The UNIX Operating System [M].北京:人民邮电出版社, 2003,19-37,312-352

- [44] 陈莉君.深入分析 Linux 内核源代码[M].北京:人民邮电出版社, 2002,405-447,477-501
- [45] 陈俊宏.Embedded Linux 嵌入式系统原理与实务[M].北京:中国铁道出版社, 2004,15-58,91-216
- [46] 魏忠,蔡勇,雷红卫.嵌入式开发详解[M].北京:电子工业出版社, 2003,1-29,81-143,169-191
- [47] 龚彬,吴平,刘维亚等.基于 uClinux 嵌入式系统的设备驱动程序的研究,电子工程师,2004,30(1):67-70
- [48] 蒋荣.基于 CAN 总线技术智能节点的设计和研究.机械制造与自动化,2006,4(1):24-27
- [49] 史久根.CAN 现场总线系统[M].北京:国防工业出版社,2004,10-45
- [50] 郑家玲,张云峰,孙荷瑶.嵌入式 Linux 内核下串行驱动程序的实现,电脑与信息技术, 2002,(5):37-41

致 谢

在攻读硕士期间，导师蒋加伏教授在学习、工作和生活上都对本人给予了悉心的指导和亲切的关怀。导师以渊博的知识，严谨的治学态度和对学术问题的高度的敏锐洞察力，使我逐渐领悟进行科学研究的方法和途径。蒋老师认真的科学研究态度和严谨的作风，让我不仅在学术上有所进步，在做人方面也受益匪浅。在我的学习和研究过程中，蒋老师倾注了大量的心血，在此对蒋老师表示最真挚的感谢。

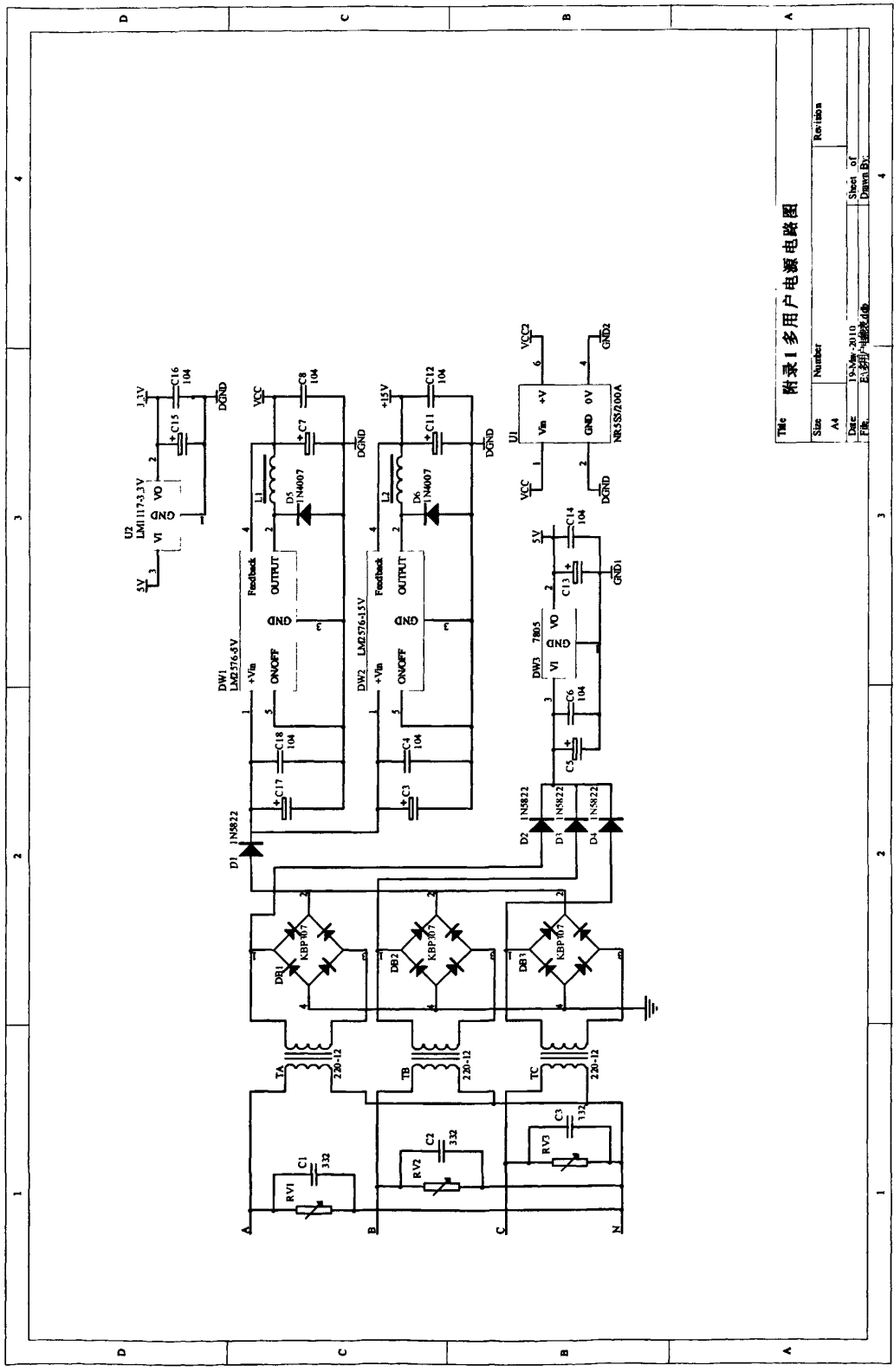
感谢我的家人和朋友，是他们的关心、支持和鼓励使我顺利的完成了学业！

张翱翔

2010年5月12日

附录 A（在学期间完成的学术论文）

- [1] 蒋加伏,张翱翔.基于 CAN 总线的多用户电能表设计.微计算机信息.2010, 05



附录1 多用户电源电路图

Table	Number	Revision
Size	AA	
Date	19-Mar-2010	Sheet of
File	PLC控制柜原理图	Drawn By

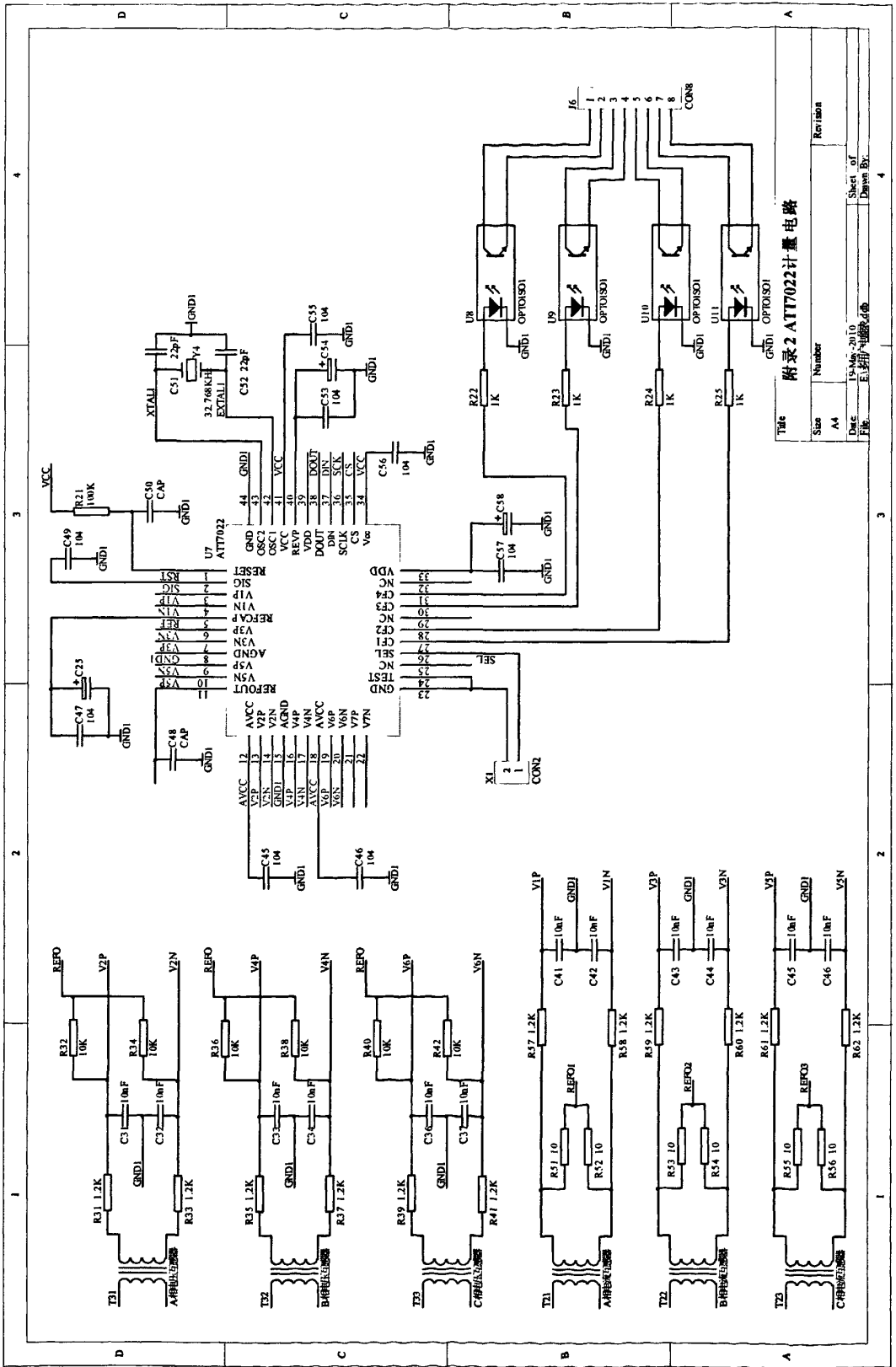


Table 附录2 ATT7022测量电路
 Size: A4
 Date: 2014.10.10
 File: E.附件内部电路.dwg
 Sheet: 4 of 4
 Drawn By: [Blank]

