

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154733311182915727

检测时间:2021-07-23 15:47:33

检测文献: 005

作者: Supervisor;Enterprise

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比对库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

可能已提前检测, 检测时间: 2021/1/7 15:46:01, 检测结果: 3.2%

检测结果

去除本人文献复制比: 5.4%

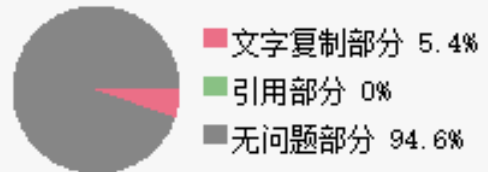
跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 5.4%

总文字复制比: 5.4%

单篇最大文字复制比: 3.1% (潘宇健#非全日制)

重复字数: [1222] 总段落数: [3]
总字数: [22564] 疑似段落数: [3]
单篇最大重复字数: [703] 前部重合字数: [0]
疑似段落最大重合字数: [984] 后部重合字数: [1222]
疑似段落最小重合字数: [92]



指 标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0 公 式: 没有公式 疑似文字的图片: 0 脚注与尾注: 0

1.6%(146) 1.6%(146) 005_第1部分 (总9305字)
10.7%(984) 10.7%(984) 005_第2部分 (总9195字)
2.3%(92) 2.3%(92) 005_第3部分 (总4064字)



1. 005_第1部分

总字数: 9305

相似文献列表

去除本人文献复制比: 1.6%(146)

文字复制比: 1.6%(146)

疑似剽窃观点: (0)

1	创新产品扩散过程中生产—销售策略选择与仿真分析 杨杰(导师: 孙宝凤) - 《吉林大学硕士论文》- 2013-05-01	0.9% (84) 是否引证: 否
2	弓网实验平台的研制及弓网电弧特性的研究 徐旻(导师: 刘文正) - 《北京交通大学硕士论文》- 2020-06-30	0.6% (52) 是否引证: 否
3	基于模式映射的审计疑点数据世系研究及应用 王忠(导师: 朴秀峰) - 《哈尔滨工程大学硕士论文》- 2013-12-30	0.4% (36) 是否引证: 否

4	基于谱聚类的热点区域挖掘技术研究	0.4% (33)
	梁卓灵(导师: 元昌安) - 《广西大学硕士论文》- 2020-06-01	是否引证: 否
5	动臂式塔机运行状态监测与实时防护系统研究	0.4% (33)
	唐涛(导师: 肖友刚) - 《中南大学硕士论文》- 2011-05-01	是否引证: 否
6	基于虚拟仪器的无刷直流电机检测系统研究	0.4% (33)
	刘丹(导师: 赵吉文) - 《安徽大学硕士论文》- 2010-05-01	是否引证: 否
7	智能优化极限学习机方法研究及在疾病诊断中的应用	0.3% (32)
	刘通(导师: 胡亮) - 《吉林大学博士论文》- 2020-06-30	是否引证: 否
8	基于ZigBee技术的智能电表的研究与设计	0.3% (32)
	张聪(导师: 范征宇;谈永根) - 《上海交通大学硕士论文》- 2010-02-07	是否引证: 否
9	基于无线通信技术的智能电表研制	0.3% (29)
	于婷(导师: 刘婉) - 《大连理工大学硕士论文》- 2015-03-01	是否引证: 否

原文内容

专业硕士学位论文具备谐波分析功能的智能电表设计
和应用研究
Design and application of smart meter with harmonic
analysis
2021 年 7 月
国内图书分类号: ×××× 学校代码: 10079
国际图书分类号: ×××× 密级: 公开
专业硕士学位论文具备谐波分析功能的智能电表设计
和应用研究
硕 士 研 究 生 :
导 师 :
企业导师 :
申请学位 : 工程硕士
专业领域 : 电气工程培养方式 : 在职
所在学院 : 电气与工程学院
答辩日期 : 2021 年 8 月
授予学位单位 : 华北电力大学
Classified Index: ×××× (xxx)
U.D.C: ×××× (xxx)
Dissertation for the Professional master's Degree
Design and application of smart meter with harmonic
analysis
Candidate:
Supervisor:
Enterprise mentor:
Academic Degree Applied for: Master of Engineering
Speciality: Electrical Engineering
Cultivation ways: On-job
School: School of Electrical and Electronic
Engineering
Date of Defence: 2021.8
Degree-Conferring-Institution: North China Electric Power University
华北电力大学硕士学位论文原创性声明
本人郑重声明: 此处所提交的硕士学位论文《具备谐波分析功能的智能电表设计
和应用研究》, 是本人在导师指导下, 在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知, 论
文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成
果。对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体, 均已在文中以明确方式注明。本声明
的法律结果将完全由本人承担。
作者签名: 日期: 年月日
华北电力大学硕士学位论文使用授权书
《具备谐波分析功能的智能电表设计
和应用研究》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位
论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有, 本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关
于保存、使用学位论文的规定, 同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本, 允许论文被查阅和借阅, 学校可以
为存在馆际
合作关系的兄弟高校用户提供文献传递服务和交换服务。本人授权华北电力大
学, 可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文, 可以公布论文的全部或部分内
容。

本学位论文属于（请在以上相应方框内打“√”）：

保密□，在年解密后适用本授权书

不保密□

作者签名： 日期： 年月日 导师签名： 日期： 年月日

摘要

智能电表在智能电网建设中发挥着非常重要的作用。传统的智能电表只能实现用电数据信息的采集、测量和传输，随着智能电网的不断发展，对智能电表功能的要求不断提高，除具有传统的功能外，还要求具备分析、检测等功能，如具备谐波检测和分时计费的功能等。

本文通过对市场中的数据处理芯片进行对比和分析，选择 STM32 系列芯片进行智能电表的开发和设计。首先完成了智能电表的整体结构设计；其次进行了智能电表的硬件模块和软件模块设计。其中硬件模块主要完成了主控制器电路、前置采集电路、ADC 采样电路、电源电路、时钟与存储电路、谐波分析等模块的设计。软件模块则给出了主程序流程、电能计量与谐波分析程序流程、

存储模块程序流程以及通信模块程序流程，然后论文对所设计智能电表进行了性能测试，测试结果表明，所设计智能电表能够实现对电网中电压、电量以及用户用电量等数据信息的准确计量，且计量精度达到了国家相关标准的要求，

还能够实现对电网中谐波分量的正确检测。最后，论文对智能电表的应用前景进行了展望。

关键词：电力系统；智能电表；STM32 芯片；谐波分析；设计应用

II

Abstract

Smart meter is an important part of power system, which plays a very important role in the construction of smart grid. The traditional smart meter can only realize the collection, measurement and transmission of electricity data information. With the continuous development of smart grid, the requirements of smart meter function are increasing. In addition to the traditional functions, it also requires analysis, detection and other functions, such as harmonic detection and time-sharing billing.

Through the comparison and analysis of data processing chips in the market, this paper selects STM32 series chips to develop and design smart meters. Firstly, the overall structure of the smart meter is designed; secondly, the hardware module and software module of the smart meter are designed. The hardware module mainly completes the design of the main controller circuit, pre acquisition circuit, ADC sampling circuit, power supply circuit, clock and storage circuit. The software module gives the main program flow, energy metering and harmonic analysis program flow, storage module program flow and communication module program flow, which lays the foundation for the operation of the whole smart meter. Then the performance of the smart meter is tested, and the test results verify the correctness of the smart meter design. Finally, the paper analyzes the application prospect of smart meter.

Key words: power system; smart meter; STM32 chip; harmonic analysis; design and application

III

目录

摘要

.....	I
Abstract.....	II
第 1 章绪论.....	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.2 智能电表系统研究现状.....	1
1.2.1 国外研究现状.....	1
1.2.2 国内研究现状.....	3
1.3 本文研究内容.....	4
第 2 章智能电表的基本功能和通信技术.....	5

2.1 智能电表的基本原理	5
2.2 智能电表的基本功能及应用	5
2.2.1 智能电表的功能	5
2.2.2 智能电表的应用	7
2.3 本章小结	8
第 3 章智能电表的总体结构设计	9
3.1 智能电表系统总体结构	9
3.2 智能电表硬件方案设计	10
3.3 智能电表软件方案设计	12
3.4 本章小结	13
第 4 章智能电表硬件电路的设计	14
4.1 主控制器	14
4.2 前置采集电路	14
4.2.1 电压采集电路	14
4.2.2 电流采集电路	16
4.3 ADC 采样电路	16
4.4 系统电源电路	18
4.4.1 开关电源电路	18
4.4.2 线性电源电路	19
4.5 时钟与存储模块设计	21
4.5.1 时钟模块	21
4.5.2 存储模块	22
4.6 显示模块设计	23
4.7 谐波分析模块设计	24
4.8 本章小结	25

第 5 章智能电表软件模块的设计	26
5.1 总体软件设计流程	26
5.2 模块程序设计	27
5.2.1 电能计量与谐波分析程序	27
5.2.2 存储模块程序	29
5.2.3 通信模块程序	30
5.3 本章小结	31
第 6 章智能电表的性能测试	32
6.1 智能电表实验方案	32
6.2 谐波分析实验设计	34
6.3 实验结果	34
6.3.1 电能测量实验数据	34
6.3.2 谐波分析实验数据	35
6.4 实验结果分析	36
6.5 本章小结	36
结论与展望	38
参考文献	39
致谢	42

1

第 1 章绪论

1.1 研究背景和意义我国传统的电表大部分是感应式电表，只能够进行用电量参数的计量，且需要人工抄表，工作人员的劳动强度较大。随着智能化和自动化技术的发展，

电网的智能化程度和水平不断提升，对电表的要求不断增加，传统的感应式电表已经不能够满足智能电网发展的要求。智能电表应运而生，它能够完成用电量信息的自动计量、自动控制、数据处理和传输等功能[1]。

智能电表是连接用户与供电公司之间的纽带，该装置能够对用户的用电数据进行精准计量，并借助远程通信技术将电能数据传输到供电公司，以便供电公司能够实时了解用户的用电状况。与此同时，供电公司通过对用户用电数据的分析，能够掌握用电峰谷参数，合理规划用电，优化电力系统配置，节约能源[2-3]。供电公司在电能管理中还可以将用户的用电数据上传到专门的管理平台中，用户可以登录自己的 APP 平台及时查询自己的用电信息，掌握用电具体状况。

但是，随着分布式能源的迅速发展，大量的分布式能源接入配电网，电网中的谐波电压和电流含量增加，导致配电网的谐波污染问题日益严重。谐波的存在不但会造成电力资源的浪费，还会影响电力部门的经营效益。为此，人们开始研究具有谐波分析功能的智能电表。本文利用 STM32 芯片作为核心控制部件，在此基础上对智能电表系统进行软件和硬件系统设计，达到对电网中谐波量的检测，从而更好的发挥智能电表系统控制功能。

1.2 智能电表系统研究现状

1.2.1 国外研究现状国外在智能电表研究方面起步较早，产品性能也比较稳定。截止到目前为止国外智能电表已经具有良好的计量稳定性特性，具有实时性好、使用时间长、使用性能稳定、可以对电网各项参数进行精准计算等优势[4]。文献[5]在

究时所设计的一款新型智能电表其能够利用 VSP430FM23A 低压载波通信芯片对电表所测量的电压、电流、功率等各项参数进行计量,并利用芯片的控制作用将所测量的参数传输到供电公司中,从而实现远程抄表功能。

文献[6]为了保证智能电表在进行数据传输时具有良好的稳定性,其认为可以在智能电表设计时采用统一的通信标准,这样可以保证智能电表系统具有良好的兼容性。但是该方案在实际的应用时需要对接多个不同的控制系统,很难在大规模供电网络中进行应用。文献[7]在进行研究时则提出了基于 ZigBee 协议的智能电表系统,在该系统中采用 ds PIC30F 芯片作为主控芯片。并在系统功能设计时增加了断电记录模块,这样一旦电网断电,智能电表系统能够准确记录该现象变化情况。与此同时该系统在应用时还预留了功能扩展模块,以便后期新增控制功能。文献[8]利用仿真软件的作用对智能电表的应用性能进行测试。验证该系统在正交频分多址和单载波频分多址两种不同通信方式下的数据传输功能。经过仿真测试验证智能电表系统在单载波频分多址通信方式下的通信效果更佳。文献[9]是对智能电表的抗干扰性能进行测试,其在进行研究时通过主元分析法和独立分量分析法两种相结合的分析方式进行抗干扰测试。经过测试发现智能电表在运行时具有良好的抗干扰性能。一旦受到外界的干扰,电表内的智能电表系统能够实现自主回复功能,从而保证电表能够准确抄表,并将表内数据传输到供电公司系统平台,实现可靠通信。

国外在智能电表研究方面除了对电表系统进行研究以外还会各种电表系统控制技术进行研究,以期利用其余辅助性设备实现对智能电表控制。文献[10]

在进行研究时利用人工智能和专家诊断的方式对智能电表进行控制。控制系统能够对海量的用户数据进行分析 and 模拟,从而发现用户的用电规律,以便对用户的用电负荷进行有效预测。除此之外智能电表中还有对数据进行采集的同步传感器,该传感器能够对数据信息进行采集然后利用无线通信技术进行数据传输。除此之外智能电表还能够在远程监控、微机保护、云服务等方面起到良好应用效果[11-16]。

从整体上来说国外在智能电表系统以及控制方面的研究成果较多,所得到的研究成果也比较稳定,这都为智能电网建设和发展奠定良好基础。经过最近 3

十几年的发展国外已经建设了较为完善的智能电网体系,而其中智能电表起到了关键性作用,这为电力系统的发展和电网智能控制奠定了基础。

1.2.2 国内研究现状我国在最近十几年的发展中也强调智能电网建设,并投入大量的人力、物力和财力进行智能电网建设。纵观当前我国在智能电网建设方面的成果分析可知所有的研究成果都是集中在技术引进和学习方面。但是从实际发展现状来说,我国虽然加大智能电网方面建设,也取得了一定的成果,但是同国外相比,仍然存在一定的差距。

我国在智能电表研究方面侧重于对电表硬件电路设计和智能电表功能研究。文献[17]在进行研究时通过对智能电表功能进行分析,然后设计了预付费功能,从而实现远程抄表功能。但是由于该功能与其他控制系统之间的交互效果差,很难在大规模电网中进行应用推广。文献[18]在进行研究时利用控制芯片的作用对智能电表的 ARM 进行控制,从而实现智能电表的数据采集、传输等功能。文献[19]在进行研究时则是对阶梯电价方案进行研究,分析该方案在智能电表控制时的不足之处,然后对智能电表在应用时的自动费率计量功能进行设计,从而合理引导用户科学用电,避免出现用电高峰。当前在智能电表硬件电路设计时可以通过单片机、DSP、CPLD 等多种方式实现硬件电路控制功能,并利用 CAN 通信、无线通信等技术实现数据传输。但是就目前来说我国数据传输协议还存在不一致问题,在功能上只能实现数据的采集和传输功能,无功实现定制化等其它个性服务功能。

在最近几年的研究中我国一直加大智能电表研究,并从智能电表的通信系统为切入点进行智能化设计,从而保证智能电表能够实现数据采集、传输等功能。但是就目前来说智能电表的通信功能仍然无法满足现代电力系统发展需求,因此在现有智能电表的基础上设计一款计量精度高、智能化程度大、定制服务功能全、抗干扰性能强的电表十分有必要,这也是本文研究的重要内容。 4

1.3 本文主要研究内容本文在进行研究时主要是对智能电表的应用进行分析,通过对智能电表结构进行分析,然后基于智能电表提出具体的硬件系统和软件系统设计方案,最后对本文所设计的智能电表进行性能测试,确定设计的可行性和电表性能的稳定性。**本文主要的研究内容如下:**

第 1 章绪论,主要介绍论文研究的背景和意义,在此基础上总结和分析国内外已经发表的文献资料,了解国内外智能电表的研究现状,确定论文的主要研究内容。

第 2 章智能电表的基本功能和通信技术,详细探讨智能电表的基本原理、功能和应用情况,为论文的研究奠定理论基础。

第 3 章智能电表的总体结构设计对智能电表结构进行分析,然后给出整体的设计思路和方案,确定智能电表总体结构。同时,给出智能电表的硬件和软件设计方案。

第 4 章智能电表硬件电路的设计,基于智能电表总体结构,对主控制电路、前置采集电路、ADC 采样电路、系统电源电路、时钟与存储模块电路、显示模块电路等具体的硬件电路进行设计。

第 5 章智能电表软件模块的设计,基于智能电表总体结构和硬件电路给出具体的控制流程,并给出具体的电能计量与谐波分析程序、存储模块程序以及通信模块程序。

第 6 章智能电表的性能测试,在完成硬件电路和软件模块设计之后,需要对本文所设计的智能电表系统进行性能研究,得到具体的性能参数。经过验证发现本文设计的合理性。

结论对论文所做工作进行总结。 5

第 2 章智能电表的基本原理、主要功能和应用

2.1 智能电表的基本原理智能电表是一种在电力系统中广泛应用的计量装置,该装置能够利用现代通信技术、测量技术等先进技术为基础对用户端数据参数进行采集、处理和传输,从而实现远程抄表功能。智能电表安装在用户端,这样其能够对每一位用户的用电情况进行精准测量[20-21],具体的结构如下图 2-1 所示。

计量芯片

或A/D

转换电流采集电压采集

时钟、电池CPU

液晶显示及驱动校表脉冲输出存储器通信接口电源图 2-1 智能电表结构智能电表在应用时主要的工作原理为：首先在智能电表中所安装的计量芯片或者是 A/D 转换器能够对用户的电压、电流、功率等相关参数进行采样，然后将采样的数据实时传输到 CPU 控制系统中进行计算和处理。经过系统计算之后能够得到用户用电的峰谷、正反向等相关电能参数计算，并且利用无线通信技术的作用将用户用电情况进行显示和传输[22]。

2.2 智能电表的主要功能及应用

2.2.1 智能电表的主要功能

(1) 支持浮动电价 6

智能电表通过软件控制程序的作用对硬件电路进行控制，从而实现用户电能精准计量。智能电表还会对所计量的数据进行保存，以便进行历史参数查询。智能电表可以根据系统预设的测量间隔为依据进行间隔测量，从而了解用户在一个测量周期内的用电状况。智能电表能够对用户的用电需求、用电量进行分析，实现实时浮动电价计算和预测。

(2) 智能家庭控制当前智能电表在进行连接时可以与智能家电进行有效连接，这样电表可以根据智能家电的用电情况实时控制电表参数[23]。比如说可以根据电力系统中的用电高峰情况进行监测，适当的对智能家电设备进行开断处理，防止高峰用电情况，延长智能家电使用寿命。除此之外还能够根据电网中的峰谷电能使用情况进行削峰填谷，合理控制用户用电需求。

(3) 双向通信功能在智能电表内部有专门的通信模块，利用该模块智能电表作为用户端可以与电网之间实现双向通信功能。智能电表可以将用户信息发送给电网，以便电网按照用户需求调整供电方式，而电网可以提起将供电信息发送给用户端，比如说断电信息等。用户端在接收到断电信息之后会及时调整用电时间。用户还可以根据电网的电价、峰谷情况适当的调整用电计划，从而起到节约电能的目的。

(4) 负荷分析预测智能电表可以根据实时采集的用户用电信息进行分析，然后进行负荷预测，预测在下一阶段中用户的用电量。比如说智能电表可以根据日用电负荷进行判断，然后绘制日负荷曲线。与此同时公司调度员还可以根据用户的负荷提供个性化服务。负荷预测可以为下一阶段制定合理的发电计划，以提高能源利用效率[24]。

(5) 电力需求侧响应需求侧响应就是根据电价对用户的用电量进行控制。在一半情况下用户的用电负荷量越大，其阶梯电价也就越高，这样就可以实现需求侧响应控制。而且在需求侧响应时还可以采用直接负荷控制方式，也就是说供电公司的调度员可以直接对高耗电用户进行控制，确定其接入负荷量。 7

(6) 预防维护和故障分析智能电表还能够对用户的家电等用电设备运行状态进行监测。智能电表可以根据不同家用电器的耗电量进行分析，判断家用电器内部是否存在故障状态。比如说可以根据电压的波形对电器内是否存在断路或者是断路问题进行检测[25]。

(7) 非法用电检测智能电表还能够对接线状态进行监测，一旦电表内的连接位置发生变化，

智能电表能够及时识别信息，并将该信息传输到供电公司管理平台中。这样可以有效方式偷电窃电现象的出现。

(8) 双向计量智能电表能够根据供电公司的电价情况对各项能源的发电信息进行合理配置，确定各项发电设备的购置数量，实现供电公司效益最大化。与此同时供电公司还可以鼓励用户安装太阳能电池板、使用蓄电设备等，从而减少峰谷电网用电需求，减少供电公司的电能压力。

(9) 其他智能电表还能够根据电网的运行状态为电力控制系统提供运行参数，以期能够为电网故障诊断、运行状态判断奠定良好基础。智能电表的可以有效的实现资源配置，提高资源利用效率，为电网电压等相关参数控制奠定基础[26]。

2.2.2 智能电表的应用

(1) 优化分布式能源配置供电公司可以根据智能电表所采集的数据进行分析，了解用户的用电参数，然后根据用户用电需求对整个电网的电能进行优化配置，实现最优经济变配电控制[27]。这样经过智能电表的应用可以有效提高用户端各项分布式能源的利用效率，保证各项能源之间的合理配置，保证用户端电能质量。

(2) 提高负荷预测准确度随着智能电表在供电系统中的应用其所起到的效果越来越大。智能电表内的智能化设备能够将所有用户数据汇总，然后将汇总参数实时传输到供电公司 8

司，这样供电公司可以根据用户实际用电情况进行负荷预测，确定在每一个时间段内用户的用电负荷，提高用户用电负荷预测的准确度。

(3) 谐波分析功能能够检测到配电网中的谐波分量，并且降低谐波分量对电能表造成的影响，确保电能信息计量的准确性。

(4) 提供故障分析依据智能电网能够实时采集用户数据，并不断更新用户的用电信息。一旦智能电表在运行时出现异常状况，就会自动将故障信息传输到供电公司平台中[28]。

相关技术人员能够对智能电网的故障参数进行分析，然后采取有效措施降低故障对用户用电的影响。除此之外智能电表还能够根据异常数据进行分析，为故障诊断提供数据支持。

(5) 智能化需求侧管理智能电表能够对电网的运行电压、电流、功率等相关参数进行数据采集，

然后以该数据为基础对电网内设备运行状态进行监控和判断，从而帮助供电公司更好的了解电网运行状况。除此之外智能电表还可以根据电网实际情况自动编制经济最优的用电方案，对该方案的实施过程进行跟踪监测，以期能够起到智能化需求侧管理的目的。

(6) 发展智能用电新技术随着智能电表的应用及推广，在未来电网建设中将会有越来越多的用户采用自动远程抄表功能，因此供电公司所获得的用户数据也将越来越多，而智能电表能够对海量的数据信息进行控制和管理，利用双向通信功能为用户展示最新电网电价、用电量、用电余额等信息，从而为用户提供个性化服务[29]。这样供电公司将会有更多的时间发展智能用电新技术。

2.3 本章小结本章主要介绍了智能电表的基本原理、主要功能和应用。 9

第 3 章智能电表的总体设计

3.1 智能电表系统总体结构简介智能电网的发展实现了电力系统的智能化和自动化，而智能电表是其数据采集的核心部件，能够实现对配电网中所有设备运行状态参数和电气参数等信息的采集、传送和分析，为智能电网中电力调度、电力监测和电力计量等提供可以参考的数据支持。电力系统中智能技术的应用较晚，智能电表的功能还比较单一，只能实现对电网中用电

数据信息的采集，为电费计量提供数据支持

[30]。随着智能电网的发展，现有的智能电表已经不能满足其发展的需求。为此，本文就现有智能电表功能进行优化，使其除了具备基础的电费数据计量外，还能够实现对电力系统供电质量的监测、区域电量供应情况的调整、智能电器管理、环境监测以及电路故障显示等等。图 3-1 给出了智能电表的结构原理，电表设计过程中采用 RS485 数据通信技术，有效确保其采集数据信息实时、准确和快速的传输。

电流采集电压采集
计量芯片或 A/D 转换器电压采集
时钟、电池CPU

液晶显示和驱动电流采集图 3-1 智能电表结构原理图从图 3-1 可以看出，本文所设计智能电表包括电压采集电路、电流采集电路、计量芯片、供电电源、主控芯片、时钟电路、液晶显示电路、校表脉冲输出、存储电路和通信电路等几个部分，采集模块能够实现电力系统中电压和电流等参数的信息，计量模块则通过采集到电流和电压参数计算电力系统的功率 10

和谐波参数，为电费计量和供电分析提供可以参考的依据；电源模块则实现对整个电表中元器件的电力供应，确保其所有元器件的正常共工作。主控模块则实现对计量模块采集数据信息的分析和处理，对芯片数据处理速度和精确性的要求较高。液晶显示模块则将芯片处理结果通过屏幕进行显示，帮助用户更好的了解智能电表的运行状态、故障信息以及电量信息等等[31]。

3.2 智能电表硬件方案设计本文所设计的智能电表主要应用于智能家居，为政府、企事业单位、商场、学校、住宅以及其它公共场所用电情况的智能管理提供可以参考的依据。

设计完成之后，要能够实现对管辖区域用电信息的测量、控制回路的控制、故障和异常信息的报警。同时，还要能够实现

对管辖区域内 12 个月用电数据信息的存储和查询。所有这些信息可通过本 1.54 英寸的 OLED 显示屏进行显示，

管理人员能够通过显示屏开关方便的完成其数据信息的查询和管理[32]。

对于智能电表来说，其性能优劣受控制芯片性能的影响较大。目前市场中常用的控制芯片有 DSP 和 STM 两种不同的类型，综合考虑智能电表的需求和成本，本文选择 STM32 控制芯片，它采用 Cortex-M3 内核，且能够方便的实现跟各种外设的连接。同时，STM32 芯片的购置成本较低，支持单电源供电，工作过程中为用户提供停机、睡眠和待机三种不同的工作模式，满足智能电表的低功耗要求。另外，该芯片内置乘法器，能够最大限度的提高其数据处理速度。下表 3-1 给出了 STM32 和 DSP 的对比结果。

表 3-1 STM32 和 DSP 的对比结果

DSP STM32
成本高低外设简单丰富电路开发复杂简单主控制器性能一般高处理速度高一般扩展功能一般较多 11

对于智能电表来说，其对运算速度的要求不是特别高，STM32 即可满足其数据处理要求。由于智能电表的适用对象为所有电力用户，必须要确保其低成本性。为此，综合考虑智能电表的需求，本次论文选择 STM32 作为主控芯片。

下图 3-2 给出了智能电表的硬件结构，从图中可以看出它包括了三个模块，分别是数据采集、信息处理和电源。数据采集模块主要利用电压和电流互感器完成对用户电压和电流信息的采集，所采集到的数据信息利用 RS485 通信线路将其传送到电能计量模块[33]。电能计量主要通过计量芯片来完成，将传感器采集到的模拟信号转换成数据信号。

指 标		
疑似剽窃文字表述		
1. 本文主要的研究内容如下： 第 1 章绪论，主要介绍论文研究的背景和意义，在此基础上总结和分析国内外		
2. 005_第2部分		总字数：9195
相似文献列表		
去除本人文献复制比：10.7%(984) 文字复制比：10.7%(984) 疑似剽窃观点：(0)		
1	潘宇健#非全日制 - 《学术论文联合比对库》- 2019-10-16	7.6% (703) 是否引证：否
2	电气与信息工程学院+控制工程+尹飞+基于STM32的三相智能电表的研究与设计 尹飞 - 《学术论文联合比对库》- 2017-03-24	7.2% (658) 是否引证：否
3	电气与信息工程学院+控制工程+尹飞+基于STM32的三相智能电表的研究与设计 尹飞 - 《学术论文联合比对库》- 2017-03-24	7.2% (658) 是否引证：否
4	智能电能计量装置设计与实现 潘宇健(导师：谢云;温酬钦) - 《广东工业大学硕士学位论文》- 2019-11-01	1.7% (156) 是否引证：否
原文内容		

工作过程中，必须要确保采集模块采集到的数据信息处于电能计量芯片能够允许的电量参数范围内。

通过上面的分析可以看出，控制芯片是整个智能电表的核心，能够实现对所有数据信息的分析和处理，并且实现其它模块的控制，完成智能电表相关功能。

图 3-2 硬件系统框图 12

3.3 智能电表软件方案设计通过上面的分析可以知道，所设计智能电表基础需求是电能计量。另外，

其需求还包括如下几个部分：

(1) 能够实现对用户用电数据信息的计量，并且将其准确可靠的传输出去。整个数据传输过程中要充分利用硬件和软件技术提高其抗干扰性能，提高信号质量。

(2) 能够实现对电力系统运行过程中存在的欠压、过压、缺相、错相以及短路等故障和异常信息的记录和存储，及时给予相应的声音和信号警报。同时，还要能够实现对故障信息的自动存储，为后续故障分析提供数据支持。故障解除后，系统还要能够自动解除其报警信息。

(3) 能够实现数据信息的传输，将采集到的数据信息及时传送到上位机模块，并且将上位机发送的控制指令传送到终端设备。

(4) 能够实现对三条相线通断的控制，进而实现对电力供应通断的控制。

(5) 能够根据不同的分类方式完成用户用电数据信息的存储，并且保存用户一年内的所有用电数据，为用电信息的查询和分析提供参考[34]。

(6) 能够实现对时钟信号的高精度控制。

(7) 能够实现所有数据信息的 LED 屏幕显示，方便人们的查看。

(8) 能够自动完成对智能电表数据的校验，确保智能电表的数据采集精度，一般情况下其有功精度应该达到 1.0s，无功精度应该达到 2 级。

按照智能电表需求分析和硬件设计结果，对其软件模块进行设计，其软件结构框架如下图 3-3 所示。 13

系统初始化开始

是否失压或掉电保存到SD 卡结束按键扫描是否按下？

是否有动态显示数据？

总线监听是否收到数读取电能数据备份电能表底进行按键程序处理进行数据显示处理对接收到的数据进行处理

Y

N

Y

N

N

N

Y

Y

图 3-3 软件系统框图

3.4 本章小结本章主要就智能电表的总体结构进行设计，包括了电压采集电路、电流采集电路、计量芯片、供电电源、主控芯片、时钟电路、液晶显示电路、校表脉冲输出、存储电路和通信电路等几个部分。在此基础上，设计了智能电表的硬件和软件方案，其中硬件选择 STM32 作为主控芯片。 14

第 4 章智能电表硬件电路的设计

4.1 主控制器本文所设计的智能电表是三相电表，前置模块利用传感器进行数据信息的采集。由于传感器采集到的电流和电压参数为模拟信号，必须要对其进行 A/D

转换后才能够做进一步的处理，完成电力数据的计量、保存和发送。控制器是整个数据处理的关键，也是整个智能电表硬件设计的核心。通常情况下，控制器模块设计时要综合考虑其性能和成本两个方面的因素，其中性能方面要充分考虑控制器的指令执行速度、数据存储空间、I/O 数量、外部扩展模块以及中断处理功能等等；成本方面则要考虑其性价比，在确保芯片性能的基础上，最大限度的将其成本大小[35]。

目前市场中应用较多的控制器有 DSP 和单片机两种不同的类型，它们均具备多种功能，具有较强的控制能力。但是，单片机的购置和运行成本比 DSP 要低很多，且具有非常丰富的外设资源，能够方便的实现其功能的扩展[36]。同时，其电路开发难度较低，在工业领域得到了较多的应用。综合考虑智能电表的应用场合、功能需求以及成本，本文选择单片机作为智能电表的控制芯片类型。进一步对市场中单片机进行筛选，充分考虑其数据处理速度、阔能能力、

外部资源数量以及控制性能，确定选择 ST 公司的 STM32F 103V CT6 型号的单片机作为智能电表的主控芯片，对应的电路如下图 4-1 所示。

4.2 前置采集电路该模块主要完成对智能电表所处电路电压和电流信号的采集，由于电网中

电压和电流信号较大，不能够直接接入到智能电表，必须要对其进行降压和A/D 转换，才能够将其转换成智能电表中能够识别的小电压和小电流。

4.2.1 电压采集电路下图 4-2 给出了智能电表的电压采集电路，由于我国楼宇中的电压等级为 220V，为了确保其安全的接入智能电表，本文选择电阻分压的方式对其进行转换，将其电压信号调整到智能电表允许的电压范围内。 15

图 4-1 STM32F103R8 硬件电路图 4-2 电压采集电路通过图 4-2 电路可以看出，一旦电压采集电路中的信号超过智能电表可承受范围，系统中的压敏电阻会自动进行电压调整，将其控制在某个固定的电压范围内，实现对后面电路的保护。电阻 R4, R14, R15, R32, R99, R100, R101 则构 16

成分压网络，达到分压目的；电阻 R117, R118, R119 和电容 C1, C8 组成抗混叠滤波网络，最大限度的降低电路中的混叠频率分量；二极管 D44, D45 用于限压作用。

4.2.2 电流采集电路下图 4-3 给出了模拟前端电流采集电路，从图中可以看出它利用电流互感器完成电路中电流信号的采集。电流互感器中互感线圈的匝数不同，调整后电路中的电流大小不同。电路中的二极管 D28, D3, D11, D29 实现对电压中电压大

小的限制，确保其最高电压处于 GND 和 AVCC 节点电压之间；二极管 D30, D4,

D12, D31 则起到限压作用;瞬态抑制二极管 TVS2 则实现对电路中过电流信号的抑制,将二极管两级电压控制在某个固定值范围内,降低过电流给电路中设备造成的冲击,导致电子元器件的损坏[37]。电阻 R26, R27 以及电容 C19, C20

则实现对电路信号的保护,降低环境电磁信号的干扰作用。电阻 R24 的阻值按照电路中电力互感器的匝数和负载大小进行确定,本文选择 12.4Ω。

图 4-3 电流采集电路

4.3 ADC 采样电路该模块主要完成对信号的 A/D 转换,将传感器采集到的模拟信号转换成数字信号,为后续芯片数据的处理提供数据支持。ADC 是 A/D 数据转换器,是智 17

能电表中非常重要的数据处理模块,设计过程中必须要充分考虑其分辨率、集成度以及成本等因素[38-39]。

通过上面的需求分析可以看出,智能电表设计完成之后必须要满足一定的精度要求。为此,本文选择 AD7705 模数转换器,它的分辨率为 16 位,能够方便的利用程序进行其数据更新频率的设置,数据更新频率越快,其分辨率越低。下图 4-4 给出了 ADC 转换器的结构,从图中可以看出其包括了前置模拟调节电路和可编程数字滤波器两个模块,工作过程中信号的采样频率为 2kHz。

图 4-4 AD7705 内部结构图课题设计三相电压和电流进行 A/D 采样,每相电压、电流需两路采样通道。基于成本与性能考虑,设计采用三组 ADC 电路,即每相电路采样各用一

组 A.D7705 组成的采样电路。下图 4-5 为其中一组 AD7705 组成的 ADC 采样模块电路图。

从图 4-5 可以看出,该电路选择三线式配置方式。SCLK 为时钟信号线,

能够完成跟 AD7705 中数据的访问;2 和 3 引脚连接电路中的晶振元件器,为智能电表提供相应的时钟控制信号。引脚 AIN1(+)和 AIN1(-)完成差分信号的输入,用来完成对智能电表中所有数据信息的采集,并且为前端模块提供相应的数据传输通道。REF IN(+)和 REF IN(-)未差分电路的正负信号输入引脚,工作 18

过程中要确保其+2.5V 的电源供应;C20 和 C21 完成对电路中谐波信号的滤除,降低环境中信号对其干扰作用。VDD 则实现对整个电路运行的电力供应,

供电电压为+5V。

图 4-5 AD7705 构成的采样模块电路图

4.4 系统电源电路智能电表中的电器元件的运行离不开电力供应,因此还需要完成其电源电路的设计,将交流 220V 的电压转换成智能电表控制器和外围元件能够使用的电压。本次需要将其 220V 交流电转换成+3.3V 直流电,转换过程中可以分成两个模块,即先将 220V 交流电转换成+5V 的直流电,然后再将其转换成+3.3V。

其中前者属于开关电源,后者属于线性电源,两种不同类型电源的电路设计特点不同。通常情况下,开关电源用于压差较大的转换电路,转换过程中的散热量较低,体积较小,能够达到的转换效率较高;后者转换过程中受环境中电磁干扰的影响较小,能够输出电压信号的稳定性较高。下面就两种转换电路分别进行设计。

4.4.1 开关电源电路开关电源选择 UC3842 芯片,它属于脉宽调制集成芯片,能够通过对电路中电流参数的控制实现输出电流参数的转换。由于其输出单一性,能够实现完成 MOS-FET 的驱动,有效降低了外围电路的复杂性。UC3842 芯片的最大工作 19

频率能够达到 500kHz,电压调整了能够达到 0.01%,且具有较高的信号隔离效果。下图 4-给出了 UC3842 内部结构图。

图 4-6 UC3842 内部结构图下图 4-7 给出了 UC3842 的开关电源电路图,图中电容器 C2 和电感器 L1

共同构成滤波电路,实现对输入交流 220V 电压信号中干扰信号的滤除。BD1

为整流桥,完成信号的滤波处理。此时输入的 220V 电压经过 R2 和 RW1 后完成降压处理,为 UC3842 提供启动电压。同时,利用 R5 和 R6 将经过绕组③④

滤波处理后的电压信号继续分压,为 UC3842 提供负反馈信号。引脚 6 则通过输出的方波信号完成 MOSFET 的驱动,并且利用电阻 R9 和 R10 完成电压信号的分压处理。最后,电压信号通过绕组⑤⑥后完成整流和滤波,得到+5V 的直流电压,为智能电表提供电力供应。

4.4.2 线性电源电路得到+5V 的直流电压信号后,还要对其作进一步的处理,将其转换成

+3.3V 的直流电源。本次论文研究过偶成中选择 SPX11117M3-3.3 作为稳压芯片,实现电压的转换,具体如下图 4-8 所示。

线性稳压电源的灵敏性非常高,且输出的波纹小,能够满足压差较小场合中电子元器件的供电需求。同时,工作过程中产生的噪音较小,输出电压信号比输入电压信号地,是非常理想的降压电路。SPX11117M3-3.3 的输入和输出端 20

口都设置了接地电容,从而最大限度的抑制点来中的自激振荡,确保芯片的正常与运行。同时,输入端的电容器能够在掉电故障发生时,减缓芯片两端的电压下降速度,避免出现电压倒置现象,降低芯片被烧损的几率。

图 4-7 开关电源电路图图 4-8 5V 转 3.3V 电源电路对于智能电表来说,其工作过程中不可避免的会出现掉电现象,影响其电量数据信息的采集、处理和保存。为了确保所有数据信息的正确采集,降低掉电故障造成的数据缺失问题,本文在设计过程中设置了备用电源。正常工作状态下,二极管 DI 和 D2 处于正向到通知黄台,此时 VCC 电源正常为智能电表 21

提供电力供应。同时,VCC 电源还能够完成对备用电源电池的充电。一旦系统出现掉电故障,二极管 D3 会被导通,由备用电源完成对智能电表的供电,确保智能电表数据的正确采集。下图 4-9 给出了备用电源的电路图。

图 4-9 备用电源电路

4.5 时钟与存储模块设计为了确保系统运行过程中能够得到准确的时钟控制信号,实现对智能电表采集电量信息和运行状态信息的准确记录,下面就智能电表的时钟和存储模块进行设计。

4.5.1 时钟模块下图 4-10 给出了智能电表时钟模块的电路连接图,从图中可以看出时钟控制芯片选择 EPSON 公司生产的 RX-8025 芯片,它是一种贴片式的控制芯片。

内部集成了 32.768KHz 的晶振电路,能够实现电路的温度补偿。运行过程中需要为其提供 1.7V~5.5V 的电压供应,且能够根据智能电表的需求选择中断、监

控和闹钟等不同类型的运行模式。另外,该芯片的连接线路简单,功耗低。

RX-8025 芯片还为用户提供了 12h 制和 24h 制计时方式,能够根据用户的需求不同进行其计数功能和精度的调整。 22

图 4-10 时钟电路原理图RX-8025 的误差较低, 据相关资料显示, 其一个月的累计误差低于 0.5s, 下表 4-1 给出该芯片的引脚以及对应功能。

表 4-1 RX-8025 主要引脚及功能说明

引脚 I/O 功能描述

SCL I 串行时钟输入

SDA I/O 数据输入输出

FOE I FOUT 输出控制的输入FOUT O 参考时钟信号输出工作过程中采用串行数据线 SDA 和串行时钟线 SCL 完成跟单片机的连接, 即 I2C 总线。它能够方便的完成跟多个器件的连接, 所以其接口常选择集

电极或漏极开路。为了确保数据信息的及时准确的传输, 将 RX-8025 芯片的 SDA 跟 SCL 引脚通过 4.7K 的上拉电阻 R155、R156 连接到电源模块。工作过程中, 如果 I2C 设备无需进行数据传输, 则将其置于高电平状态, 避免外部信号的干扰, 引发 I2C 总线误启动。

4.5.2 存储模块本次设计过程中选择 W25Q128 作为智能电表的 FLASH 存储器, 它能够在智能电表断电情况下实现数据信息的保存, 避免数据信息的丢失。W25Q128 23

工作过程中需要为其提供 2.7V~3.6V 的供电电压, 电流损耗大小为 4mA; 休眠

状态下的能量损耗只有 1 μ A, 最大限度的降低了其能量损耗。

W25Q128 芯片能够为用户提供 128Mb 的数据存储空间、8192 个可擦除的扇区及 512 个可擦出块, 用户可以根据自己的需求进行程序的编写, 具有较强的数据存储灵活性, 下图 4-11 给出了存储模块的电路原理图。

图 4-11 存储电路原理图W25Q128 芯片为用户提供标准的 SPI 接口, 能够实现的最大数据传输频率为 104MHz。工作过程中能够方便的将其片选信号、时钟信号、数据输入输出信号传送到单片机, 完成响应数据信息的传输。当片选信号引脚为低电平时, 能够实现对芯片中数据信息的读写操作, 完成数据信息的存储; 反之, 则直接将其调整到低功耗运行状态。DI 引脚连接到单片机的 SPI_MOSI 端口,

实现对单片机发送命令和数据的存储。根据智能电表的设计要求, 一个存储芯片即可满足其数据存储的需求, 可直接将其置于高电平状态。

4.6 显示模块设计该模块能够实现用户用电量数据信息的显示, 包括了其用电信息数据和功率数据等等。本次论文研究过程中选择字段型 LCD 显示屏, 其电路如下图 4-12

所示。

LCD 显示器工作过程中所需要的功耗小, 体积小, 且能够方便的完成大量数据信息的同步显示, 是当前非常先进的电子显示设备。本次论文在研究过程中选择 4 个 COM 公共输出口和 32 个 SEG 端输出口, 将其直接跟液晶驱动模 24

块的接口连接即可。通过对市场中 LCD 驱动芯片的对比和分析, 选择具有 48

个引脚的 HT1621B 芯片, 该芯片采用扁平式封装结构, 在电表和家用电器中得到了非常广泛的应用。

图 4-12 LCD 显示电路原理图HT1621B 芯片的 VDD 端和 VLCD 引脚直接连接到电源的正极, 运行过程中利用两个引脚之间的电阻完成对显示内容的调节。根据智能电表显示模块的

要求, 本次论文选择 100 Ω 的电阻。

VSS 引脚则直接进行接地处理, 驱动时钟信号则利用 RC 振荡器产生, 分别连接到单片机的为/CS、/WR 和 DATA 引脚, 各个引脚的功能如下表 4-2 所示。

表 4-2HT1621B 部分引脚功能说明

引脚 I/O 功能描述

/CS I 仅/CS 为低电平时, HT1621 读写有效

/WR I /WR 在上升沿时, DATA 线上的数据写入芯片DATA I/O 串行数据输入、输出

4.7 谐波分析模块设计

谐波分析模块的运行流程如图 4-13 所示, 从图中可以看出先利用 MCU 将ADC 采样得到的数据进行转换, 得到智能电表能够识别的数字信号。然后, 对 25

其进行周期采样, 完成所采集数据信息的一次谐波分析, 包括数据的插值处理、窗口函数处理和 FFT 运算等等。最后, 将得到的数据信息进行选频处理,

并且将处理结果从串口输出。

图 4-13 谐波分析流程图

4.8 本章小结本章是整个论文设计的重点和关键, 在第三章总体方案设计的基础上, 给

出了智能电表硬件电路的设计, 详细分析了主控制器电路、前置采集电路、ADC 采样电路、系统电源电路、时钟与存储模块电路、显示模块电路和谐波分析模块等。所有这些电路共同构成智能电表的硬件模块, 为其功能的实现奠定了硬件基础。 26

第 5 章智能电表软件模块的设计

5.1 总体软件设计流程软件程序实现对系统中所有硬件设备的驱动, 为了降低软件系统的设计难度, 本次论文选择模块化的设计方法, 具有较强的可读性和可移植性, 有效提升了软件程序的编程效率, 降低了软件程序编写所需要的时间。根据智能电表的设计需求, 其软件程序由一个主程序和若干个子程序构成, 如计量程序、谐波分析程序、存储程序和 RS-485 通信程序等等。

(1) 首先要完成智能电表的初始化程序, 将所有设备参数调整到初始状态。同时, 还要完成中断信号、时钟信号和定时器的初始化。

(2) 其次调用各个子程序完成智能电表相应的功能, 如电量计量、谐波分析、串口通讯以及数据存储和显示等等。

(3) 最后根据各个子程序的运行时间进行其调用顺序的调整, 确保所有功能高校准确的完成。

智能电表通电完成之后, 先要进行初始化, 将晶振信号作为主时钟控制信号, 并且完成 I/O 口的定义。初始化完成后, 系统会自动从外部获取时钟信号, 完成系统各个功能, 如自动驱动传感器进行数据信息的采集、分析和处理。同时, 对采集到

的信号进行谐波处理。所有采集和处理信息会被存储到存储器中,为后续数据信息的查询、分析和处理奠定基础。最后,利用时间函数完成对采集数据信息的分析,完成当前时间段用电高峰和低谷阈值的设置。所有计算和分析结果会通过 LCD 显示模块进行显示,方便人们的读取和使用。

智能电表运行过程中会根据计量区域不同,将一天内的用电量分成 3 个阶段,分别是峰时(7:00~11:00,17:00~21:00)、平时(11:00~17:00,21:00~23:00)和谷时(23:00~7:00)。但是为了降低软件程序的编写难度,本次论文在研究过程中将其分成两个时间阶段,分别是峰时(7:00~23:00)和谷时(23:00~7:00),并且利用 Flag 的数值进行判断,即当处于用电低谷时,Flag=0。主程序运行过程中,Flag 参数会发生变化,如从 0 到 1,此时智能电表的用电脑模式也从低谷 27 调整到高峰,系统会自动将原来采集到的用电信息保存到低谷始端,并且通过LCD 屏幕进行显示。

图 5-1 主程序流程图

5.2 模块程序设计

5.2.1 电能计量与谐波分析程序下图 5-2 给出了电能计量子程序的运行流程,从图中可以看出,智能电表的计量数据每隔 0.5ms 刷新一次,同时软件程序中的标志信号进行刷新。主程 28

序在接收到相应的标志信号后,系统会自动调用电量计量参数完成用电数据信息的处理。如果主程序未接收到数据更新的标志信号,系统会自动进入到空循环状态。

图 5-2 电能计量流程图主程序咋接收到数据处理标志后,系统会自动对智能电表采集数据信息进行谐波分析。一方面,系统会自动判断存储模块接收到的数据信息量进行判断,看其是否已经存满;另一方面,系统会自动判断是否要执行谐波分析程 29

序,完成存储数据信息的谐波分析。一旦满足系统设定的条件,系统会自动调用谐波子程序,具体的处理流程如下:
首先,对存储模块中连续周期的 240 个信号做线性插值处理,得到 256 个采样信号。然后,对信号做进一步的海宁加窗处理。最后,利用傅里叶变换完成对信号的谐波分析。分析过程中根据信号频谱不同对其幅值进行分析,得到采集数据信息的谐波参数,并且将其分析结果存储到数据库中,数据分析结果则直接通过串口进行发送。如果不满足谐波分析条件,系统会自动进入到下一

步的数据处理中,将采集到信号的电流和电压参数作进一步处理,得到电流和电压信号的有效值和功率参数,进而实现智能电表用电量的累计。

采集得到原始数据开始提取相应数据转换数据类型滤波求取信号基波周期线性插值求取 256 个数据点将数据类型转换为浮点型

加海宁窗处理FFT 运算求取谐波各参数结束图 5-3 谐波分析算法流程图

5.2.2 存储模块程序该模块利用 I2C 总线进行数据信息的传输,从而实现对电路中所有用电量信息的统计和谐波参数的分析。对于存储模块来说,要考虑其总线的分配,从 30

而确保其数据的处理速度,及时将数据分析结果存储到 AT24C02 中。同时,还必须要设置应答位,从而确保所有数据信息能够准确的传出去。

控制芯片还要能够实现对所有存储数据的地址分配,提高控制芯片的数据处理能力,并且将其准确的存储到对应的地址中,为后续数据信息的查询和分析奠定基础。

图 5-4 存储单元流程图

5.2.3 通信模块程序智能电表要具备数据发送和接收的双重任务,达到双向通信的目标,从而实现跟电力用户和电力公司之间的数据传输。RS-485 数据传输方式值智能电表的主要通信方式,利用该通信方式,智能电表能够完成对电力用户用电量数据信息的采集,如电流、电压、功率以及谐波参数等等;同时还能够接收到点来公司发送的信息,如电价、提醒以及其它宣传信息等。 31

图 5-5 串口通信发送流程图图 5-5 给出了 RS-485 数据通信方式中串口数据的发送流程,从图中可以看出数据发送程序启动之后,系统会自动将采集到的数据存储到 SBUF 中。同时,将程序中的中断标志调整到数据接收状态。另外,数据发送程序还要对数据发送完成情况进行判断,如果已经全部发送出去,则直接中断数据标志位;

反之,则将其存储地址增加 1,继续进行数据的发送,直到所有数据全部发送完毕。

指 标
疑似剽窃文字表述
1. ST 公司的 STM32F 103V CT6 型号的单片机作为智能电表的主控芯片,
2. 网络,达到分压目的;电阻 R117, R118,R119 和电容 C1, C8 组成抗混叠滤波网络,最大限度的降低电路中的混叠频率分量;二极管 D44, D45 用于限压作用。
4.2.2 电流采集电路下图 4-3 给出了模拟前端电流采集电路,
3. AD7705 内部结构图课题设计三相电压和电流进行 A/D 采样,每相电压、电流需两路采样通道。基于成本与性能考虑,设计采用三组 ADC 电路,即每相电路采样各用一组 A.D7705 组成的采样电路。下图 4-5 为其中一组 AD7705 组成的 ADC 采样模块电路图。
4. 交流 220V 的电压转换成智能电表控制器和外围元件能够使用的电压。本次需要将其 220V 交流电转换成+3.3V 直流电,转换过程中可以分成两个模块,
5. 转换成+3.3V。 其中前者属于开关电源,后者属于线性电源,两种不同类型电源的电路设计特点不同。通常情况下,开关电源用于压差较大的转换电路,
6. 为 UC3842 提供负反馈信号。引脚 6 则通过输出的方波信号完成 MOSFET 的驱动,并且利用电阻 R9 和 R10 完成电压

- 信号的分压处理。
- 工作过程中产生的噪音较小，输出电压信号比输入电压信号地，是非常理想的降压电路。SPX11117M3-3.3 的输入和输出端
 - 智能电表硬件电路的设计，详细分析了主控制器电路、前置采集电路、ADC 采样电路、系统电源电路、时钟与存储模块电路、显示模块电路
 - 采集得到原始数据开始提取相应数据转换数据类型滤波求取信号基波周期线性插值求取 256 个数据点将数据类型转换为浮点型
加海宁窗处理FFT 运算求取谐波各参数结束图 5-3
 - 电流、电压、功率以及谐波参数等等；同时还能够接收到点来公司发送的信息，如电价、提醒以及其它宣传信息等。

3. 005_第3部分			总字数：4064
相似文献列表			
去除本人文献复制比：2.3%(92)文字复制比：2.3%(92)疑似剽窃观点：(0)			
1	关于扩大中产阶级的财政政策研究 徐谦(导师：周小林) - 《西南财经大学硕士论文》 - 2007-04-01	0.8% (32) 是否引证：否	
2	基于阶梯费控的单相智能电表设计 杨玮婷(导师：杨培宏) - 《内蒙古科技大学硕士论文》 - 2020-06-13	0.8% (31) 是否引证：否	
3	论高校图书馆人本式创新服务实践 李红;谢玉琢; - 《长春师范学院学报》 - 2010-12-20	0.7% (29) 是否引证：否	
原文内容			

5.3 本章小结该章节主要就智能电表的软件模块进行了设计，给出了其软件整体运行流程。同时，详细分析了各个模块的程序运行流程，如电能计量与谐波分析程序、存储模块程序和通信模块程序。软件模块和硬件模块共同作用，完成整个智能电表的功能。 32

第 6 章智能电表的性能测试
完成了智能电表整体方案设计、硬件电路设计

和软件程序流程设计后，即可得到完整的智能电表。但是在其正式运行之前，必须要对其性能进行测试，

即将软件程序导入到 ST-Link 仿真器中，利用仿真软件对智能电表的硬件和软件进行调试。

6.1 智能电表实验方案智能电表的硬件测试主要完成其电能计量准确性和谐波分析准确性的测试，测试过程中所有用电数据信息利用 PTC-8125B 校表仪来完成。下图 6-1 给出了智能电表硬件模块测试的电路连接图。

图 6- 1 硬件实验环境从图中可以看出，整个硬件模块分成 2 个部分，其中一个为标号 1 的电路板，该电路板中包括了用电量信息统计的测量芯片和主控芯片，能够实现对智能电表功能的测试；另一个则位于 1 号电路板的右上角，完成采集数据信息的串口转换，从而将传感器采集到的模拟信号转换成计算机能够识别的数字信 33

号。标号为 2 的设备是标准校表仪，PTC-8125B；标号 3 的设备是微压电源，为测试电路中的所有电子元器件提供+5V 的电源供应。

测试过程中，利用校表仪测试电路中的电压和电流信号，并且跟智能电表采集到的计量数据进行对比分析。为了确保所采集电压和电流信息的精确性，

测试过程中利用串口通信方式将采集到的数据连接到计算机，并且通过液晶显示模块完成数据信息的显示。

谐波分析模块主要完成对经过智能电表中电信号谐波量的计算，并且将谐波分析结果跟专门谐波分析仪分析得到的结果进行对比。测试人员能够方便的通过液晶显示屏幕观察谐波分析结果和对比情况。下图 6-2 给出了实验室中智能电表仿真分析的环境。

图 6- 2 谐波分析硬件实验环境谐波分析过程中采用的设备有两种，一种是标号为 1 的电力分析仪，能够为系统提供电网中的谐波分量；一种是标号为 3 的电路板，用来实现对采集数据信息的分析，即主控电路板。标号 2 为稳压电源，能够为芯片提供+5V 的稳压电源；标号 4 为串口通信电路，能够完成智能电表和计算机之间的数据传输。 34

6.2 谐波分析实验设计

为了进一步验证智能电表设计完成后谐波分析的正确性，本文利用PM3000A 电力分析仪将分析结果跟智能电表的分析结果进行对比。PM3000A

的频宽为 500k Hz ， 按照其功能其机型可进一步分成 PM3000A-001 和PM3000A-002 两种，均能欧股为[用户提供低通滤波功能。用户可以根据自己的需求，选择所需要的](#)滤波器类型。如果系统处于高频运行状态，系统可以选择不启动低通滤波器。PM3000A-001 的频宽为 25kHz，PM3000A-002 的频宽为

5kHz。
利用谐波分析设备检测到的谐波信号即为谐波分析标准，将其数值跟智能电表分析得到的数据进行对比，通过对两个数据测量误差的分析，即可判断智能电表是否能够满足国家相关规定。

所有硬件电路创建完成之后即可对其性能进行测试，鉴于当前配电网中谐波信号呈现出较强的随机性和不确定性，因此实验过程中将电网信号同步接入到电力分析仪和智能电表，并且将二者采集到的数据信息准确记录。

通过对二者采集到数据信息谐波分析结果的分析可以得出，智能电表的数
据分析结果在国家允许的误差允许范围内，这说明所设计的智能电表能够实现
对电网中信号的谐波分析。

6.3.1 电能测量实验数据按照上面的实验方案，利用图 6-1 中的实验方案和环境对智能电表进行测试。测试中 SPI 口的时钟频率为 4MHz，ADC 的采样频率为 2k Hz，分辨率为

通过表中数据可以得出,智能电表的测量误差非常小,只是在电流数值非常低时线性度数值才有略微变化。这也说明所设计的智能电表所需成本较低。

电压通道		实际值/V		测量值 (RMS) /V		误差值%	
60	0.13%	0.3	0.297	-1%	90	90.04	0.04%
0.5	0.494	-1.2%	110	110.07	0.06%	1	0.999
-1.2%	140	140.10	0.071%	2	1.994	-0.3%	160
160.13	0.08%	4	3.998	-0.05%	195	195.15	0.07%
6	6.004	0.067%	220	220.19	0.086%	8	7.997
0.038%	240	240.21	0.088%				

表 6-2 谐波分析测量值测量方案

谐波% 1 221.2 0.016 0.608 0.034 0.525 0.023 0.110 0.010 0.256 0.013 2 219.3 2 0.398 0.966 5 0.059 8 0.698 3
0.0999 5 0.231 7 0.0552 2 0.361 0 0.071 8

20 次
 20 times

表 6-2 中 1 表示电力分析仪, 2 为智能电表, 所对应的数据均为相对基波的百分比数值, 通过两个数据的对比可以看出智能电表的谐波分析结果达到了设计要求, 能够实现对电网中谐波分量的正确检测。

同时,也为智能电表运行过程中参数的设置提供了可以参考的依据。测试结果表明所设计智能电表能够实现对电网中电压、电量以及用户用电量等数据信息的准确计量,且计量精度达到了国家相关标准的要求。另外,谐波测试结果表明,所设计的

智能电表能够实现对电网中谐波分量的检测，但在谐波量较小时，测量的误差较大。这是因为所设计的智能电表采用定点运算方法，利用线性插值进行处理，最终导致其频率泄露误差。但是，谐波分析结果还控制在国家允许的误差范围内，能够满足电网谐波分析的要求。

综上所述，所设计智能电达到了预期设计目标，且开发成本较低，能够满足企业和家庭用户的需求。

6.5 本章小结本章主要就上面设计的智能电表硬件和软件方案进行了测试，测试结果表明，所设计智能电表能够实现对电网中电压、电量以及用户用电量等数据信息的准确计量，且计量精度达到了国家相关标准的要求，还能够实现对电网中谐波分量的正确检测。 37 38

结论与展望本文首先介绍了国内外智能电表的发展及应用情况，然后通过对市场中的数据处理芯片进行对比和分析，选择 STM32 系列芯片进行智能电表的开发和设计。在此基础上，对智能电表总体结构、硬件模块和软件模块进行了详细设计。设计完成之后，对智能电表进行了调试和性能测试，测试结果表明所设计的智能电表能够达到预期设计要求。论文的主要结论如下：

- (1) 对智能电表系统进行总体设计，给出了其硬件方案和软件方案的设计，为整个智能电表系统的设计奠定了基础。
 - (2) 完成了智能电表硬件电路的设计，给出了其主控制器、前置采集电路、ADC 采样电路、系统电源电路、时钟与存储模块电路、显示模块电路和谐波分析模块的设计。
 - (3) 完成了智能电表软件模块的设计，给出了其软件运行总流程以及子模块的运行流程，如电能计量流程、谐波分析程序、存储程序以及通信程序等等。
 - (4) 完成了智能电表的性能测试，测试结果表明，所设计智能电表能够实现对电网中电压、电量以及用户用电量等数据信息的准确计量，且计量精度达到了国家相关标准的要求，还能够实现对电网中谐波分量的正确检测。
- 由于时间和精力有限，论文在研究过程中还存在很多不足之处，没有对智能电表更多功能的应用进行分析和探讨。在未来工作和学习过程中，随着对智能电表了解的不断增加，将会对智能电表的功能作进一步的优化，力求实现其功能和性能的进一步提升。 39

参考文献

- [1] 国家电网公司. Q/GDW 354-2009 智能电能表功能规范[S]. 北京：中国电力出版社， 2009.
- [2] 宗建华，闫华光，史树冬等. 智能电能表[M]. 北京：中国电力出版社，2010.
- [3] 国家电网公司. Q/GDW 358-2009 0.5S 级三相智能电能表技术规范[S]. 北京：中国电力出版社， 2009.
- [4] 国家电网公司. Q/GDW 356-2009 三相智能电能表型式规范[S]. 北京：中国电力出版社， 2009.
- [5] 张春晖. 中国智能电表发展过程与导向[J]. 环球表计，2010，(2):11-13.
- [6] 陈源，李海娜，唐宏伟. 基于单片机的家用智能电表设计[J]. 信息系统工程，2018，(7):114- 115.
- [7] 张巍. 探讨基于 ARM 的智能电表设计[J]. 科学与信息化，2019，(36):108-108.
- [8] 李帅男. 基于 STM32 的多功能智能电表设计[J]. 信息技术与信息化，2018，(9):67-69.
- [9] 孙毅，王永生，顾博川，等. 具备边缘计算能力的多芯智能电表设计[J]. 电子测量技术，2019，42，(23):200-205.
- [10] 张文嘉，江小昆，王姐，等. 基于误差在线自诊断技术的智能电表设计[J]. 自动化仪表，2020(4):16-22.
- [11] 欧习洋，曾幼松，冉晓红，等. IR46 智能电能表软件可靠性设计与测试研究[J]. 电测与仪表，2019，056(019):147-152.
- [12] 徐雪刚. 试论智能电能表的远程集抄系统设计[J]. 科学与信息化，2019，(3):25-26.
- [13] 刘紫熠，刘卿，王崇，等. 基于智能电表运行故障数据的纵向分析模型[J]. 计算机科学，2019，46(z1):14-16.
- [14] 李付存，郭红霞，杨剑，等. 智能电能表电压电流异常事件监测设计与应用[J]. 自动化仪表，2019，40(03):94-97.
- [15] 王皓，魏彤佳，张威，等. 智能电表自动测试系统的设计[J]. 信息技术，2019，043(011):145-150. 40
- [16] 孟令磊，余其奇. 基于电力载波通信智能电能表设计[J]. 城市周刊，2019，000(003):P. 61- 61.
- [17] R. L. Glass. Software Runaways: Lessons Learned from Massive Softwar Projeet Failures. Information System Management, 2003, 10(5):125-12
- [18] Loughlinpj, Pittonjw, Atlasle. Construction of positive time frequency distributions[J]. IEEE Trans.Signal Processing, 1994, 42(10): 2697-2705
- [19] 黄德才. 数据库原理及其应用教程[M]. 北京：科学出版社，2006：80-88
- [20] 黄祖华. 远程自动抄表系统现状及发展趋势[J]. 计算机测量与控制，2004，12(6):572- 575
- [21] 张春晖. 中国智能电表发展过程与导向[J]. 环球表计，2010，(2):11-13.
- [22] 李晓娥. 供电企业信息资源的整合. 电力信息化，2005，3(4):64-66
- [23] (US)StephenHaag, Maeve CummingS. AmyPhillipS, Managemen Info-rmation SystemS for the Information Age(6thEdition). McGraw-Hill Education, 2007
- [24] Claudia Imhoff, Nicholas Galemno, Jonathan G. Data warehouse design[M]. Andrews McMeel Publishing. 2006
- [25] 邓文，赵伟. 电能自动抄表技术及相关思考[J]. 电测与仪表，2001，11(01):71-74
- [26] Dliu, B. Gaucher. Wide Band AC power Line Characterization[J]. IEEE Transaction on Consumer Electronics, 1999, 45(4):1087-1097
- [27] 许金字，熊剑，曹子涛. 基于标准加密算法的智能电能表通信安全方案设计[J]. 电测与仪表，2018，55(17):125-128.
- [28] 何培东，蒲丽娟，杜斌，等. 基于 RFID 的智能电表快速定位系统设计与实现[J]. 电测与仪表，2018，55(S1):103-106+112.
- [29] 许金字，曹子涛，王冠男. IR46 智能电能表固件在线升级方案设计[J]. 电测与仪表，2018，055(0z1):71-74.

[30]何培东, 蒲丽娟, 杜斌, 等. 基于 RFID 的智能电表快速定位系统设计与实现[J]. 电测与仪表, 2018, 055(0z1):98-101, 107.

[31] Denny Radford. New Spread Spectrum Technologies Enable Low Cost Control Application for Technical Article[J]. Residential and Commercial Use, Intellon Corporation Technical Article, 1997 41

[32] 方蕾. 低压电力线远程抄表系统后台管理软件的设计与研发[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004

[33] Radford D. Spread-Spectrum Data Leap Through AC Power Wiring[J] Wiring[J]. IEEE Spectrum, 1996, 33 (11) : 48-53

[34]于宁, 张强, 崔晖, 等. 关于现场智能电能表故障诊断方案的设计实现[J]. 电测与仪表, 2018, 55, (7):105-110.

[35]王冠, 陈利. 基于 STM32F103 的三相智能电表设计[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14, (22):219-221.

[36]周璐, 胡戡, 刘娟宏, 等. 基于 CSE7780 的车载直流智能电表系统设计[J]. 电子器件, 2018, 41(2): 530-535.

[37]Matthew J. Liberatore. Project Management In Construction Software Use And Research Directions[J] Journal of Construction Engineering And Management, 2001:31-36 42

致谢

在此毕业论文完成之际, 我要向我的导师说一声谢谢, 从论文的选题到论文的写作都凝聚了老师无数的心血。论文写作过程中遇到不懂的问题, 导师都向指路明灯一样, 为我指明前进的方向。同时, 导师不断给我鼓励, 让我拥有克服困难的勇气, 最终完成毕业论文的写作。论文修改阶段, 导师也是利用工作之余, 加班加点为我进行讲解, 指出论文中不合理的部分, 让我的论文更加严谨。在此, 我要向导师道一声真诚的谢谢。

其次, 我还要感谢所有的任课老师, 是你们的倾囊相授让我学习到了更多的知识, 为论文的写作和以后的工作奠定了基础

最后, 我要感谢我的父母和朋友, 是你们的支持和陪伴让我的求学生涯更加平坦。

说明: 1. 总文字复制比: 被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比: 去除系统识别为引用的文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比: 去除作者本人文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

4. 单篇最大文字复制比: 被检测文献与所有相似文献比对后, 重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6. 红色文字表示文字复制部分; 绿色文字表示引用部分; 棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



✉ amlc@cnki.net

🌐 <http://check.cnki.net/>

👤 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>