

电能表检测与 软件测试技术

钱晓耀 胡献华 洪涛 著



 中国质检出版社
中国标准出版社

电能表检测与软件测试技术

钱晓耀 胡献华 洪 涛 著

中国质检出版社

中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

电能表检测与软件测试技术/钱晓耀,胡献华,洪涛著. —北京:中国质检出版社,2014.7
ISBN 978-7-5026-4007-1

I. ①电… II. ①钱… ②胡… ③洪… III. ①电能表—检测 ②电度表—软件—测试
IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 113115 号

内 容 提 要

本书在系统阐述电能表产品性能检测中的产品标准、检测原理、试验方法、试验环境的基础上,力求反映电能表产品检测与嵌入式软件测试技术中的新思想、新技术、新方法和新工具,以及应用作者近年来从事嵌入式软件测试方面教学和科研、开发的体会和经验。实践性很强,内容与产品开发、质量检测过程紧密结合,既介绍产品的性能特征,同时也强调熟悉产品检测要求或产品标准、测试方法,还特别涉及嵌入式软件质量度量 and 测试过程管理,了解和运用测试工具和管理工具的能力。在编写过程中重视理论与实践结合,在阐述基本理论和方法的基础上,着重讨论针对电能表嵌入式软件的检测手段和方法、测试环境的建立。

本书面向从事嵌入式软件测试人员,也可作为高校嵌入式应用相关专业的大学生教材或参考书。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 253 千字

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月第一次印刷

*

定价 28.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010) 68510107

目 录

1 智能电能表基本概念	001
1.1 智能电表发展简史	001
1.2 智能电能表的概念	002
1.3 智能电能表基本功能与结构原理	004
1.3.1 智能电能表的基本功能	004
1.3.2 智能电能表的结构原理	007
1.3.3 智能电能表的软件系统	007
1.4 智能电能表检测	008
1.4.1 电能表检定基础	008
1.4.1.1 有关检定的基本概念	008
1.4.1.2 智能电能表的检定	009
1.4.2 智能电能表性能和功能测试	009
1.4.3 电能表检定和试验的有关标准和规程	012
1.4.4 电能表软件测试概述	012
1.5 本章小结	013
2 电能表嵌入式软件测试方法	014
2.1 嵌入式软件测试基础	014
2.1.1 软件缺陷	014
2.1.2 嵌入式软件测试定义	015
2.1.3 嵌入式软件质量度量	016
2.2 静态测试技术	020
2.2.1 检查单	021
2.2.2 代码审查	021
2.2.3 代码走查	022
2.2.4 软件质量度量应用	024
2.2.5 静态分析	026
2.3 动态测试技术	029
2.3.1 白盒测试概述	030

2.3.2	黑盒测试概述	038
2.4	电能表软件测试管理	042
2.4.1	测试过程管理	043
2.4.1.1	测试计划	043
2.4.1.2	测试设计和开发	046
2.4.1.3	测试执行	052
2.4.1.4	测试评估	054
2.4.1.5	测试结果分析和质量报告	055
2.4.2	组织管理	056
2.4.3	需求管理	056
2.4.4	文档管理	058
2.4.5	配置管理	060
2.5	本章小结	061
3	电能表嵌入式软件测试和测试环境	062
3.1	单元测试	062
3.2	集成测试	065
3.3	系统测试	069
3.4	确认测试	070
3.5	回归测试	072
3.6	嵌入式软件测试环境	073
3.6.1	嵌入式软件交叉测试环境	073
3.6.2	嵌入式软件仿真测试环境	075
3.6.3	嵌入式软件测试策略	080
3.7	嵌入式软件测试工具	084
3.7.1	Logiscope	085
3.7.2	Testbed	085
3.7.3	综合测试工具 RTRT	087
3.8	本章小结	090
4	电能表嵌入式软件可靠性测试	092
4.1	嵌入式软件可靠性定义	093
4.1.1	软件可靠性术语	094
4.1.2	软件可靠性指标	095
4.2	测试目的	096
4.3	测试环境	098

4.4 测试内容	099
4.4.1 软件可靠性测试意义	100
4.4.2 软件可靠性评估过程	100
4.5 测试方法	101
4.5.1 可靠性目标的确定	102
4.5.2 开发操作剖面	103
4.5.3 测试准备	105
4.5.4 执行测试	107
4.5.5 失效数据的分析评估	109
4.5.6 可靠性测试报告	114
4.5.7 可靠性测试用例分析设计实例	115
4.6 本章小结	126
5 电能表嵌入式软件测试评估	127
5.1 案例描述	127
5.1.1 DDS28 型电能表的主要功能	127
5.1.2 DDS28 型电能表的硬件电路设计	127
5.1.3 DDS28 电能表的软件设计	134
5.2 IBM Rational Test RealTime	135
5.2.1 RTRT 简介	135
5.2.2 RTRT 测试过程	137
5.2.3 RTRT 测试应用	138
5.2.4 添加测试源文件和库文件	143
5.2.5 函数测试	144
5.3 本章小结	159

1 智能电能表基本概念

本章介绍了有关智能电能表的一些基本概念和基本知识,简述了智能电能表的发展历史,以及其与智能电网的关系;对智能电能表的功能、性能要求和测试、检定方法,应遵循的国家相关的法律、法规作了简单描述。

1.1 智能电表发展简史

电能表作为电能计量的工具和手段,伴随着电力工业的发展也不断地向前发展。

1888 年意大利人法拉里(Ferraris)提出:在一个可转动导体上作用两个同频率但空间和相位不同的交变磁场其导体就能转动,也就是电磁感应原理。按此原理制成的电能表被称为感应式电能表(induction meter),又称为“法拉里表”。由于它全由机械部件构成,又称为机电式电能表(electromechanical meter)。此后的 100 多年里一直使用这类电能表作为计量电能的主要手段,直到电子式电能表的出现。

随着电子技术的发展,电能测量技术有了突破,使传统的电磁感应式电能表受到了极大的挑战。尽管感应式电能表具有性能稳定、安全可靠、结构简单等优点,但也存在准确度指数不高(一般民用电能表为 2 级)、功能单一等缺点。但随着日益增大的用电量,电力部门对供用电的管理也从粗放走向精益,这样,对电能表的要求也在不断提高。其发展趋势是高准确度、多功能、宽量程、高过载、长寿命,显然传统的感应式电能表与电力部门的需求是不相适应的。电子式电能表的出现能符合电力部门的现实需求。

20 世纪 60 年代末,日本人衫山桌发明了时分割乘法器并提出了相应的电功率测量原理,从而使电子式电能表走上了历史舞台。早期的电子式电能表价格昂贵(主要因电子元件)、使用环境苛刻(恒温条件且对电压、频率等参数波动要求稳定)、及其较高的准确度(可达到 0.05 级,这是感应式电能表无法比拟的),只能作为电能计量标准器而未能在电网上普及在线运行,典型的产品是日本横河株式会社制作的 2885 型功率/电能表。直到 20 世纪的 90 年代,专用计量芯片的问世才使电子式电能表真正成为电网电能结算的计量器具。随着专用计量芯片的不断改进和发展,电子式电能表也趋于成熟,成为现今电能计量的主流产品。

电是一种特殊的商品,其商业运作模式是边生产、边销售、边使用,不能间断,以现在的科技水平还不能像其他商品一样储存(虽然现在已有一些所谓“储能设备”也只能是解决局部的需要),所以在发电、供电和用电各环节中始终是存在矛盾的。这就要对电网进行科学的管理,其核心即负荷管理。所谓负荷管理就是使发电量与用电量做到相对平衡,通过管理“移峰填谷”以保证电网安全高效运行。实现这个目的可用的手段大致有三种:行政手段、经

济手段和技术手段。

所谓行政手段,就是“拉闸限电”,供电部门根据线路负荷强制拉电来控制负荷,我国在20世纪80年代及90年代初常用,显然与市场经济的体制不符,现在已基本摒弃了;经济手段,就是运用价格杠杆实行多步电价,鼓励电力用户在高峰时少用电、在低谷时多用电。这就有了多费率电能表(multi-rate meter)或称分时记度电能表(TOU, time of use)、最大需量电能表(maxim demand meter)等;技术手段,即用技术方法来控制用户用电,如电力负荷控制器,设定用户的用电负荷,超负荷自动跳闸等。

在感应式电能表的时代对上述功能都做过努力,如用时间继电器做时间开关的多费率电能表,用同步电机指示最大需量,还有为解决收电费而研制投币式预付费电能表(pre-pay meter),都由于精确度不高或动作不同步等原因而不能得以广泛应用。由于电子技术的发展,在电子式电能表中实现这些附加功能就不是一件难事。特别是微处理器的出现,因其强大的功能可将多种功能集成在一起,并能将其数字化,对获取的数据处理后为电网运行进行有效管理、存储和显示,这就产生了新一代的多功能电能表(multi-function meter)使电力部门的电能管理水平提升一个台阶。并在此基础上又发展成智能电能表(smart meter)。

1.2 智能电能表的概念

智能电能表是伴随智能电网(smart grid)而产生的。

2009年美国奥巴马为抵御金融危机振兴经济,提出新能源战略,将智能电网建设上升到战略地位。在此带动下,日本、韩国、澳大利亚、俄罗斯等几十个国家先后宣布开始建设智能电网。同年5月我国也提出了建设坚强智能电网的规划,这就开启了全球性智能电网的建设。

其实智能电网是基于社会、科技和用电发展规律及客观需求而产生的,建设的目的并非仅仅为应对经济危机,其主要目的是为了提高电能使用效率,推动可再生能源利用,降低环境污染,提高电网运行安全性和可靠性,推动经济的可持续发展。

智能电网概念的提出可追溯到2001年,美国电力科学院提出了智慧电网概念(intel-grid)并开始研究。2003年为保证电网、经济和国家安全,美国能源部发布“Grid2030”设想,首次将未来电网定义为“智能电网”。2005年,欧洲成立“智能电网欧洲技术论坛”,2006年,IBM公司提出了“智能电网”解决方案。如今各国根据自己的实际情况,形成了不同版本的智能电网概念,所以很难对智能电网给出一个确切的定义。但智能电网应具有下列特征。

①坚强(robust):智能电网可对电网与用户进行全信息实时采集与分析,为电网运行和管理提供实时、全面、完整和细致的信息,并通过智能判断与自适应调节对电力运行进行优化与控制。因此,应对电网攻击具有更高的安全性,在电网发生大扰动和故障时,电网仍能保持供电能力,而不发生大面积的停电事故;在自然灾害和极端气候条件下、或人为的外力破坏下仍能保证电网的安全运行;具有确保信息安全的能力和防止计算机病毒破坏的能力。

②自愈(self-healing):具有实时、在线连续的安全评估和分析能力,强大的预警控制系统和预防控制能力,自动故障诊断、故障隔离和自我恢复能力。

③兼容(compatible):多能源兼容,能支持火电、水电及核电等传统生化能源,风能、太阳能等可再生能源及电能储存设备的正确、合理的接入,适应分布式发电和微电网的接入;有效地缓解能源危机,减少环境污染。

④互动(interactive):具有良好的交互能力,能使需求方管理的功能更加完善和提高,实现与用户的交互、高效互动。能使用户参与能源管理,使用户的需求及时反映到电网的动作中;消费者可以看到电费价格,使用智能电表的软件来节约电费,通过这个软件可以得到节能建议和实时价格信息,整合家用电器的使用时间和频率,避开高峰的高价格电能,选择最适合自己的供电方案和电价,降低电费费用,可有效地提高能源使用效率和节能。

⑤集成(integrated):检测、控制、保护、维护、调度及后台等系统全面集成,实现电网信息的高度集成和共享,采用统一的平台和模型,实现标准化、规范化和精细化的管理。

⑥经济(economical):可协调管理超越地理和组织边界分布的各种资源、设备、信息系统,支持电力市场和电力交易的有效开展,实现资源合理配置,降低电网损耗,提高能源利用效率。

⑦优化(optimized):有效地优化资源与设备的利用和运营,提供高质量电能避免电压跌落、电压尖刺、扰动和中断等电能质量问题,适应现代电网需求。

总之,智能电网是建立在开放系统和信息共享的基础上,整合系统中的数据,优化电网的运行和管理。通过终端传感器将用户之间、用户和电力公司之间形成即时连接的网络互动,从而实现数据读取的实时、高速、双向的效果,整体性地提高电网的综合效率。它可以利用传感器对发电、输电、配电、供电等关键设备的运行状况进行实时监控和数据整合,遇到电力供应的高峰时,能够在不同区域间进行及时调度、平衡电力供应缺口,从而达到对整个电力系统运行的优化管理;将彻底改变今天的电网结构,包括了从能源接入、输配电调度、安全监控与继电保护、用户用电信息采集、计量计费、直到将电能输送给终端用户的全过程。

与传统电网相比,它可对电网与用户信息进行全方位实时采集与监控,为电网运行和管理提供实时、全面、完整和细致的电网信息,并加强对电力业务的分析和优化,将改变过去基于时间滞后、且有限的信息进行电网管理的传统方式,实现电网智能化运行管理。

智能电网由测量管理体系或称之为先进计量基础设施(AMI-advanced metering infrastructure)、先进配电运行体系(ADO-advanced distribution operations)、先进输电运行体系(ATO-advanced transmission operations)、先进资产管理体系(AAM-advanced asset management)和物理电网(physical-grid)等模块组成(如图 1.1 所示)。

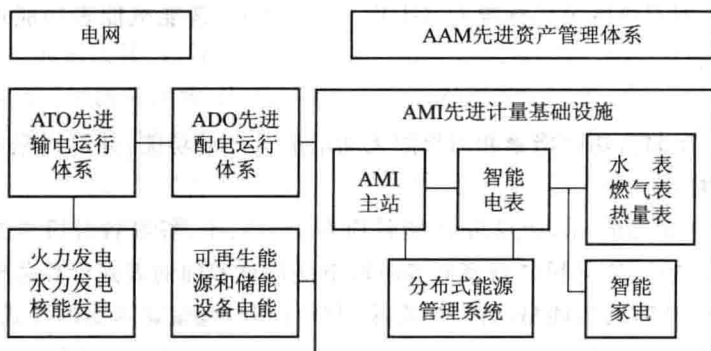


图 1.1 智能电网的构成

智能电网的重要基础是对电力网络各种量值的计量、数据采集处理,实现双向互动、实时高效的智能化数据通信。所以 AMI 是智能电网的关键组成部分。

AMI 不同于 AMR(自动抄表系统 automatic meter reading)它的作用并不局限于自动抄读电能表的电能计量值与相关数据,AMI 是用来采集、测量、储存、分析和运用用户信息的完整网络系统,已经超出了仪表和网络设备范畴,由智能电能表、广域通信网络、测量数据管理系统和用户户内网络组成。AMI 是传感与检测技术、通信技术、网络技术、输配电技术、电力电子技术、储能技术的合成。

AMI 是建立在开放系统和共享信息模式的基础上,整合系统数据,优化电网运行和管理。通过智能电能表将用户之间、用户和电力公司之间形成即时连接的网络互动,从而实现数据读取的实时、高速、双向的效果,整体性提高电网综合效率。

智能电能表在 AMI 中的作用十分重要,因为电能计量数据及各种电网信息的源头就来自智能电能表,而电能计量数据及信息采集与测控系统为智能电网提供必不可少的支撑平台。这个系统必须具备多功能多费率计量、双潮流四象限电能计量、电能质量监测、多种通信模式,电能计量计费管理、企业信息管理,双向互动、实时远程控制、智能预测、检测和修复电力系统安全运行问题,对分布式能源及负荷双向计费管理和交易结算。智能电能表的功能必须与这些要求相匹配。

1.3 智能电能表基本功能与结构原理

1.3.1 智能电能表的基本功能

智能电能表不同于传统电能表,可以将它看作是智能电网的终端设备。它能在客户和电力企业之间建立双向信息流,提高互动性服务,更迅速地响应客户需求,提升客户满意度;能丰富需求方管理手段,提高能源利用效率,通过 AMI 远程管理,节约人力成本,提高工作效率;通过自动数据收集,及时掌握设备运行工况,节约检修和维护成本;有效防范窃电、盗窃破坏电力设施等违法行为。它具有智能化自适应处理能力,具备初步数据归类和分析功能,并由此给出基本判断与自动执行能力。根据电力部门的需要,智能电能表的基本功能有以下几个方面(按国家电网公司标准 Q/GDW 354—2009《智能电能表功能规范》的规定,此处仅列出基本功能)。

① 电能计量

a. 具有正向、反向有功电能量和四象限无功电能量计量功能,并可以据此设置组合有功和组合无功电能量;

b. 具有分时计量功能;有功、无功电能量应对尖、峰、平、谷等各时段电能量及总电能量分别进行累计、存储;不应采用各费率或各时段电能量算术加的方式计算总电能量;

c. 具有计量分相有功电能量功能;不应采用各分相电能量算术加的方式计算总电能量;

② 需量测量

在约定的时间间隔内,测量单向或双向最大需量、分时段最大需量及其出现的日期和时间。

③ 费率和时段

- a. 至少应支持尖、峰、平、谷四个费率；
- b. 全年至少可设置 2 个时区；24 小时内至少可以设置 8 个时段；时段最小间隔为 15 分钟，且应大于电能表内设定的需量周期；时段可以跨越零点设置；
- c. 应支持节假日和公休日特殊费率时段的设置；
- d. 应具有两套可以任意编程的费率和时段，并可在设定的时间点起用另一套费率和时段。

④ 数据存储

- a. 至少应能存储上 12 个结算日的单向或双向总电能和各费率电能数据；
- b. 至少应能存储上 12 个结算日的单向或双向最大需量、各费率最大需量及其出现的日期和时间数据。

⑤ 冻结

- a. 定时冻结：按照约定的时刻及时间间隔冻结电能量数据；
- b. 瞬时冻结：在非正常情况下，冻结当前的日历、时间、所有电能量和重要测量的数据；
- c. 日冻结：存储每天零点的电能量；
- d. 约定冻结：在新老两套费率/时段转换、阶梯电价转换或电力公司认为有特殊需要时，冻结转换时刻的电能量以及其他重要数据；
- e. 整点冻结：存储整点时刻或半点时刻的有功总电能。

⑥ 事件记录

- a. 应记录各相失压的总次数，最近 10 次失压发生时刻、结束时刻及对应的电能量数据等信息；
- b. 应记录各相断相的总次数，最近 10 次断相发生时刻、结束时刻及对应的电能量数据等信息；
- c. 应记录各相失流的总次数，最近 10 次失流发生时刻、结束时刻及对应的电能量数据等信息；
- d. 应记录最近 10 次全失压发生时刻、结束时刻、及对应的电流值；全失压后程序不应紊乱，所有数据都不应丢失，且保存时间应不小于 180 天；电压恢复后，电能表应正常工作；
- e. 应记录电压(流)逆相序总次数，最近 10 次发生时刻、结束时刻及其对应的电能量数据；
- f. 应记录掉电的总次数，以及最近 10 次掉电发生及结束的时刻；
- g. 应记录需量清零的总次数，以及最近 10 次需量清零的时刻、操作者代码。
- h. 应记录编程总次数，以及最近 10 次编程的时刻、操作者代码、编程项的数据标识；
- i. 应记录校时总次数(不包含广播校时)，以及最近 10 次校时的时刻、操作者代码；
- j. 应记录各相过负荷总次数、总时间，最近 10 次过负荷的持续时间；
- k. 应记录开表盖总次数，最近 10 次开表盖事件的发生、结束时刻；
- l. 应记录开端钮盖总次数，最近 10 次开端钮盖事件的发生、结束时刻；
- m. 永久记录电能表清零事件的发生时刻及清零时的电能量数据；
- n. 应记录最近 10 次远程控制拉闸和最近 10 次远程控制合闸事件，记录拉、合闸事件发

生时刻和电能量等数据；

- o. 应支持失压、断相、开表盖、开端钮盖、内部程序错误等重要事件记录主动上报。

⑦通信

通信信道物理层必须独立，任意一条通信信道的损坏都不得影响其他信道正常工作。当有重要事件发生时，宜支持主动上报。

- a. RS485 通信；
- b. 红外通信；
- c. 载波通信；
- d. 公网通信。

⑧信号输出

- a. 电能量脉冲输出，包括光脉冲输出和电脉冲输出；
- b. 多功能信号输出，可输出时间信号、需量周期信号或时段投切信号；
- c. 控制输出，可输出电脉冲或电平开关信号，控制外部报警装置或负荷开关。

⑨显示

- a. 应具备自动循环和按键两种显示方式；
- b. 显示电能量、需量、电压、电流、功率、时间、剩余金额等各类数值；显示功率方向、费率、象限、编程状态、相线、电池欠压、故障（如失压、断相、逆相序）等符号标志；
- c. 显示代码包括显示内容编码和出错代码；
- d. 应具有失电后唤醒显示的功能。

⑩测量

可测量总及各分相有功功率、无功功率、功率因数、分相电压、分相（含零线）电流、频率等运行参数。测量误差（引用误差）不超过 $\pm 10\%$ 。

⑪费控功能

a. 费控功能的实现分为本地和远程两种方式；本地方式通过 CPU 卡、射频卡等固态介质实现；远程方式通过公网、载波等虚拟介质和远程售电系统实现；

b. 当剩余金额小于或等于设定的报警金额时，电能表应以声、光或其他方式提醒用户；透支金额应实时记录，当透支金额低于设定的透支门限金额时，电能表应发出断电信号，控制负荷开关中断供电；当电能表接收到有效的续交电费信息后，应首先扣除透支金额，当剩余金额大于设定值（默认为零）时，方可通过远程或本地方式使电能表处于允许合闸状态，由用户人工恢复供电；

c. 可通过固态介质对电能表内的用电参数进行设置，除用户购电信息外的其他用电参数设置应通过编程开关和密码验证使电能表处于编程允许状态方可进行；

- d. 在保证安全的情况下，可通过虚拟介质对电能表内的用电参数进行设置。

⑫负荷记录

负荷记录内容为“电压、电流、频率”、“有、无功功率”、“功率因数”、“有、无功总电能”、“四象限无功总电能”、“当前需量”等六类数据项中任意组合。

⑬阶梯电价

具有两套阶梯电价，并可在设置时间点启用另一套阶梯电价计费。

⑭停电抄表

在停电状态下,能通过按键或非接触方式唤醒电能表抄读数据。电能表停电唤醒后应能通过对外通信方式抄读表内数据。

⑮报警

a. 应有发光或声音报警输出;

b. 报警事件包括:失压、失流、逆相序、过载、功率反向(双向表除外)、电池欠压等。

1.3.2 智能电能表的结构原理

智能电能表的结构原理如图 1.2 所示。

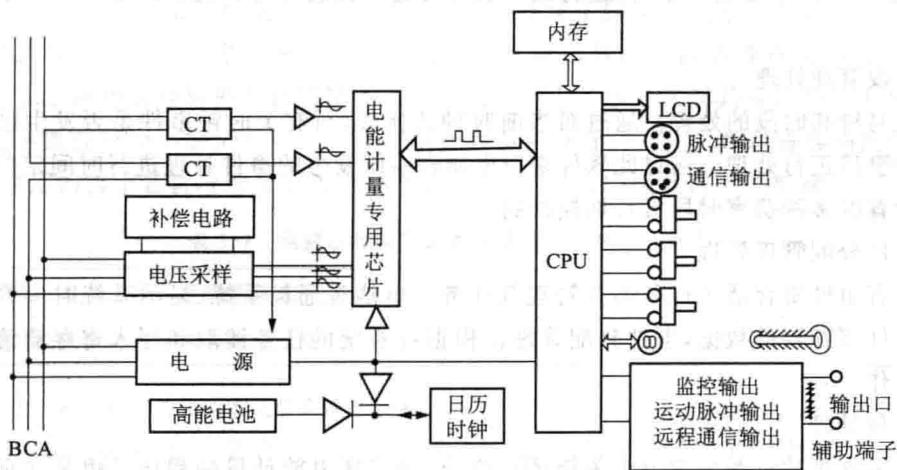


图 1.2 智能电能表结构原理图

智能电能表是由电能计量单元、数据处理单元和通信单元三大部分组成。

电能计量单元由电流互感器、运算放大器、电压采样网络、补偿电路、电能计量专用芯片组成;数据处理单元由内存、数据处理单片机、看门狗与掉电检测、日历时钟组成。由电源、高能电池组成供电系统;由 LCD、校验表输出口、按钮、外卡插口、辅助端子组成输出系统。通信单元由多种通信接口组成。

1.3.3 智能电能表的软件系统

智能电能表的功能实现不仅需要硬件系统,而更多地需要依靠软件系统。如果说硬件系统是智能电表的躯体,则软件系统可以说是智能电表的灵魂。此软件系统一般由以下几部分组成。

①初始化

对整个程序进行初始化并对电能表运行的六种状态进行转换。

程序初始化包括 MCU 初始化和电能表各部件初始化。MCU 初始化是对 MCU 各部件进行初始化,为各部件在程序工作时提供合适的初始状态,它包括配置 I/O 口工作模式、看门狗初始化、定时器初始化、键盘中断初始化、串口中断初始化、LVI 初始化等。

电能表各部件初始化是对电能表内各部件进行配置工作状态,初始化它们的工作方式,为程序工作提供电能表部件初始状态,它包括:指示灯初始化,LCD 显示初始化,实时时钟初始化,电量恢复、通信信道、历史电量处理等部件的初始化。

② 电能表运行处理

电能表运行处理,包括:对电能表上电状态处理、正常工作与停电唤醒工作处理、休眠处理、下电状态处理、进入休眠处理。

③ 通信处理

处理电能表与外界的通信,包括通信接收处理、通信命令处理及通信发送处理。当接收到一帧正确的数据时,通知程序通信命令处理事件发生,执行通信命令解释及执行命令操作;当命令要求发生通信数据时,进行通信数据发送。在通信时还应判断是哪一个信道进行通信的。

④ 时段管理处理

进行时钟和时段的处理。通过对当前时钟的比较,对有关时钟事件是否发生进行判断并对时钟事件进行处理。通过此软件来对电能表系统发生的事件处理进行时间定位。同时还对已设置的多种费率时段进行切换控制。

⑤ 事件分配管理处理

对所有事件寄存器进行分类并管理其任务。电能表通信系统、显示系统时段管理都需要访问事件寄存器的数据,事件分配管理器根据各系统的任务读取和写入寄存器请求完成相应的操作。

⑥ 电量处理

这是电能表软件系统中最为关键的一部分,是实现电能计量的程序。也是实现智能电能表基本功能的程序,因此它要求设计的计量算法正确、合理。它包括 MCU 上电对各电量值的恢复、对各费率电量脉冲的累计及对电量掉电保护等程序在电量脉冲累计到一定值时,此时时段费率电量整数加一事件发生,执行电量整数累计程序。

⑦ 最大需量处理

通过设置最大需量积算周期及滑差递推时间,分时测算、记录并保存总、各费率时段的正向有功、反向有功最大需量值和发生时间。

1.4 智能电能表检测

1.4.1 电能表检定基础

1.4.1.1 有关检定的基本概念

《中华人民共和国计量法》规定:用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测方面的列入强制检定目录的工作计量器具,实行强制检定。电能表作为一种计量电能的计量器具其量值在发电、供电及用电的各环节中都需要进行贸易结算,所以它被列入强制检定目录,实行

强制检定。因此对电能表进行检定意义重大。

所谓检定, JJF 1001《通用计量术语及定义》中给出的定义是:查明和确认测量仪器符合法定要求的活动,它包括检查、加标记和/或出具检定证书。检定的目的即是以法制管理的手段,对计量器具是否符合法定要求,它包括计量性能、技术要求、法制管理要求,确定是否合格,能否使用。检定也可以看成是把量值与计量标准、基准联系起来实施溯源性的一种行为,以保证量值准确可靠,从而实现同一物体测量结果的可比性、一致性。

计量检定必须按照国家计量检定系统表进行。计量检定必须执行计量检定规程。

1.4.1.2 智能电能表的检定

智能电能表的检定应遵循上述规定。

JJG 2074—1990《交流电能计量器具检定系统》规定了国家电能基准和标准计量器具及工作计量器具间的量值传递关系。目前作为工作计量器具的电能表准确度等级为:0.2S、0.5S(注:以上两种为经特种互感器接入式电能表)、1级、2级。在对其进行检定时所使用的计量检定装置应符合 JJG 597—2005《交流电能表检定装置》的要求,相对各准确度等级的电能表,所使用的检定装置准确度等级应符合表 1.1 的规定,以确保量值的准确。

表 1.1 电能表与检定装置准确度等级对应关系表

被检有功电能表准确度等级	0.2S	0.5S	1	2
检定装置有功测量的准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.3

说明:表中所列检定装置的准确度为最低水平。

智能电能表属电子式交流电能表的一种,所以对该类电能表的计量检定也须执行 JJG 596—2012《电子式交流电能表》计量检定规程。规定的检定项目如下。

①外观检查:电能表的铭牌、接线图和端子标志应符合相关规定。

②交流电压试验:在规定的试验条件下,电能表所有带电线路对地施加 2kV(I 类防护仪表)或 4kV(II 类防护仪表)经受到持续 1min 试验而不被击穿或出现飞弧、放电等现象。

③潜动试验:又称无负载试验,在电能表只有电压($115\%U_e$)而无电流(负载)时,不能产生大于一个以上脉冲。

④起动试验:电能表加以规定的起动电流时,电能表应能起动并连续工作。

⑤基本误差:电能表在参比条件下运行时,其最大允许误差(MPE)必须在规定的范围内。

⑥仪表常数试验:电能表测试输出与显示器指示的电能量变化之间的关系,应与铭牌标示的常数一致。

⑦时钟日计时误差试验:具有计时功能的电能表,在参比条件下其内部时钟的计时误差为 $\pm 0.5s/d$ 。

以上各项要求的具体检定方法在 JJG 596 中都有详细规定。

1.4.2 智能电能表性能和功能测试

电能表除了进行计量检定外,还需对其性能和功能进行一系列的测试。

简单地说,所谓功能即是该产品能实现的事,而性能则是完成功能的能力。对智能电能表来说,除计量电能的功能外,还有其他诸如需量测量、分时计度(多费率)、事件记录、费控、通信、负荷记录等 10 余种功能。

当然其中计量功能是最主要的,也是核心的功能,其他功能可以说是它的延伸和扩展。为了保证其计量的电能量值的准确性必须要进行检定,但这种检定是在参比条件(reference condition)下进行的,当然这种参量也规定了一定范围,如表 1.2 所示。

表 1.2 电能表检定的参比条件及其允许偏差

参比条件	参比值	有功电能表准确度等级				有功电能表准确度等级	
		0.2S	0.5S	1	2	2	3
		允许偏差					
环境温度	参比温度	±2℃					
电压	参比电压	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
频率	参比频率	±0.3%	±0.3%	±0.3%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
波形	正弦波	波形畸变因数小于(%)					
		2	2	2	3	2	3
参比频率的外部 磁感应强度 ^①	磁感应强度为零	磁感应强度使电能表误差变化不超过(%)					
		±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.3	±0.3

^①磁感应强度在任何情况下应小于0.05mT。

说明：参比温度为23℃，参比电压为220V(单相)、380V(三相)，参比频率为50Hz。

当这些参量的改变超过参比条件规定的允许偏差时,其量值就会超过规定的 MPE,这就是产品标准中规定的“影响量影响”。影响量影响俗称附加误差,就是在参比条件下影响量的变化引起的附加的百分数误差。这就必须对这种附加误差作相应规定,相应的电能表产品标准中都有这个规定。

规定的影响量有:环境温度变化(电能表规定的工作温度范围)、电压改变量($\pm 10\%$)、频率改变量($\pm 2\%$)、逆相序(对三相电能表)、电压不平衡(对三相电能表)、电流线路和电压线路中谐波分量、交流电流线路中谐波(包括直流和偶次谐波、奇次谐波和次谐波)、外磁场影响(包括恒定磁场、交流感应磁场和高频电磁场)、表内工作附件影响以及一些电磁骚扰(射频场感应的传导骚扰、快速瞬变脉冲、抗衰减振荡波)。

此外,电能表还应满足以下要求。

①机械要求

电能表在正常条件下正常工作时不至引起任何危险。尤其应确保:

- 抗电击的人身安全;
- 防过高温度的人身安全;
- 防止火焰蔓延;
- 防止固体异物、灰尘和水的进入。

在正常工作条件下可能经受腐蚀的所有部件应受有效防护。在正常工作条件下,任何

防护层既不应在一般的操作时会受损,也不应由于暴露在空气中而受损。户外用仪表应能耐阳光辐射。它需经受下列试验:

- a. 弹簧锤试验;
- b. 冲击试验;
- c. 振动试验;
- d. 灼热丝试验;
- e. 防尘和防水。

试验后电能表应能正常工作。

②电气要求

a. 电源电压影响。电能表的工作电压范围如表 1.3 所示,并在电压暂降和短时中断试验后能准确工作。

表 1.3 电压范围

规定的工作范围	从 0.9 到 1.1 U_e
扩展的工作范围	从 0.8 到 1.15 U_e

- b. 温升。电能表在达到热平衡后仪表的温度不能超过规定。
- c. 绝缘试验。包括 6kV 脉冲电压试验(1.2/50Hz 的脉冲波)、2kV 交流电压试验。
- d. 抗接地故障能力(仅对三相四线经电压互感器工作的仪表)。
- e. 功率消耗(电能表的电压线路、电流线路的功率消耗不能超过规定)。
- f. 短时过电流影响(短时过电流不应损坏仪表。当回到初始工作条件时,仪表应能正常工作,其误差改变量不应超过规定值)。
- g. 自热影响(由自热引起的误差改变量不应超过规定值)。

③电磁兼容性(EMC)要求

电能表应能保证在电磁骚扰影响下无损坏或信息改变,并能够准确工作。且仪表不应发生能干扰其他设备的传导和辐射骚扰。需按下列各项试验:

- a. 抗静电放电骚扰;
- b. 抗射频电磁场骚扰;
- c. 抗快速瞬变脉冲群骚扰;
- d. 抗浪涌骚扰;
- e. 抗射频场感应的传导骚扰;
- f. 抗衰减振荡波骚扰(仅对经互感器接入式仪表);
- g. 电能表产生的无线电干扰被有效抑制。

④气候要求

电能表在某种气候条件下应能准确工作,需进行下列试验:

- a. 高温试验(在规定的极限工作温度下,如+70℃时);
- b. 低温试验(在规定的极限工作温度下,如-40℃时);
- c. 交变湿热试验(在高温高湿条件下);
- d. 阳光辐射试验。