



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102591276 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 16

(21) 申请号 201210015773. 8

US 2011208368 A1, 2011. 08. 25, 全文.

(22) 申请日 2012. 01. 18

王欣异. 多功能智能电表的设计与研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库(电子期刊)工程技术 II 辑 2011 年》. 2011, 第 9 卷第 C042-700 页.

(73) 专利权人 山东工商学院

地址 264000 山东省烟台市莱山区滨海中路 191 号

章鹿华等. 面向智能用电的家庭综合能源管理系统的设计与实现. 《电测与仪表》. 2010, 第 47 卷(第 537 期), 第 35-38 页.

(72) 发明人 庞清乐 华臻 刘新允 王永强 张勇 孙静

章鹿华等. 面向智能用电的家庭综合能源管理系统的设计与实现. 《电测与仪表》. 2010, 第 47 卷(第 537 期), 第 35-38 页.

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 张勇

审查员 谭潇

(51) Int. Cl.

G05B 19/418(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102081118 A, 2011. 06. 01, 全文.

CN 102075013 A, 2011. 05. 25, 全文.

CN 202033418 U, 2011. 11. 09, 全文.

CN 102130507 A, 2011. 07. 20, 全文.

CN 102315672 A, 2012. 01. 11, 全文.

WO 2011092265 A2, 2011. 08. 04, 全文.

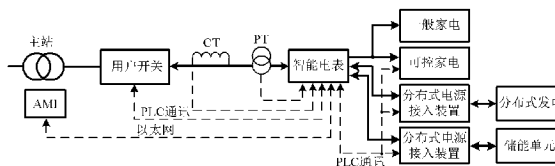
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种适用于智能电网的居民用户智能电表系统

(57) 摘要

本发明公开了一种适用于智能电网的居民用户智能电表系统。它是一种适用于智能电网的居民用户智能电表系统,它在每户居民的家居中装设一台智能电表,每台可控家电和用户开关处均装设一台控制终端,在每台分布式电源处均装设一台分布式电源接入装置;智能电表与各控制终端和分布式电源接入装置间通过 PLC 通讯网络互连,智能电表与主站的高级测量体系 AMI 进行信息交互。适用于实行阶梯电价和分时电价的居民用户,以用户电费支出最少为目标,对居民用户家电和分布式电源进行智能控制,实现电力负荷的削峰填谷,提高供电质量和供电可靠性。



CN 102591276 B

1. 一种适用于智能电网的居民用户智能电表系统,其特征是,在每户居民的家居中装设一台具有双向计量功能的智能电表,在每台可控家电和用户开关处均装设一台控制终端,在每台分布式电源处均装设一台分布式电源接入装置,智能电表与控制终端和分布式电源接入装置通过 PLC 通讯网络互连,智能电表还与可控家电连接;智能电表与主站通过以太网互联,与主站的高级测量体系 AMI 进行信息交互,并对控制终端和分布式电源接入装置进行控制,监视用户开关状态;

所述智能电表从主站的 AMI 获取阶梯电价、分时电价,且根据家电类型、家电运行时间、居民对家电运行状态的期望值、环境温度条件,计算当日各时间段家电运行的电费支出,取电费支出最低的时间段作为家电运行的时间段,由智能电表通过 PLC 通讯方式向家电处的控制终端发送投入命令,实现对家电的运行费用最低的控制;

所述智能电表从主站的 AMI 获取的阶梯电价、分时电价、度电补贴和分布式电源接入点容许的最大接入容量,且根据分布式电源运行成本和分布式电源的发电量,计算分布式电源投入运行的盈亏;若盈亏值大于 0,且分布式电源满足接入点的最大容许容量限制,则由智能电表通过 PLC 通讯方式向相应分布式电源的接入装置发送投入命令,由分布式电源接入装置控制的分布式电源投入运行;若盈亏值小于 0,则使分布式电源停止运行;

所述家电在各时间段的运行电费支出:

$$Z_a = Z_{th} + Z_{ad} \quad (1)$$

$$Z_{th} = \begin{cases} \alpha C_{S1} P \Delta t & , \Delta t_{S1} \geq \Delta t \\ \alpha C_{S1} P \Delta t_{S1} + \alpha C_{S2} P (\Delta t - \Delta t_{S1}) & , \Delta t_{S1} < \Delta t \end{cases} \quad (2)$$

$$Z_{ad} = \begin{cases} \frac{t_e - t_c}{t_i} W_t \alpha C_{S1} & , t_e \geq t_c, \Delta t_{S1} \geq \Delta t \\ \frac{t_e - t_c}{t_i} W_t \alpha C_{S2} & , t_e \geq t_c, \Delta t_{S1} < \Delta t \\ \frac{24 + (t_e - t_c)}{t_i} W_t \alpha C_{S1}, & t_e < t_c, \Delta t_{S1} \geq \Delta t \\ \frac{24 + (t_e - t_c)}{t_i} W_t \alpha C_{S2}, & t_e < t_c, \Delta t_{S1} < \Delta t \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{其中, } C_S = \begin{cases} C_V & , t_r \subset t_V \\ C_F & , t_r \subset t_F \\ C_P & , t_r \subset t_P \end{cases}; \alpha = \begin{cases} C_I / C_{II} & , W \in W_I \\ 1 & , W \in W_{II} \\ C_{III} / C_{II} & , W \in W_{III} \end{cases}$$

Z_a 为家电的实际电费支出; Z_{th} 为家电的理论电费支出; Z_{ad} 为家电由于提前运行完成产生的能量损耗所需要的额外电费支出; α 为阶梯电价系数; C_{S1} 为电加热器结束加热时间的分时电价; C_{S2} 为电加热器结束加热时间前一时间段的分时电价; P 为家电的功率; Δt 为家电运行时长; Δt_{S1} 为电加热器结束加热时间所处时间段; t_e 为家电期望运行完成的时刻; t_c 为家电理论运行完成的时刻; t_i 为家电温度降低或升高 1°C 所需要的时间; W_t 为该家电每升高或降低 1°C 所消耗的电能; C_V 、 C_F 和 C_P 分别为当日谷、平和峰电价; t_r 为家电运行时间间隔; t_V 、 t_F 和 t_P 分别为当日的谷、平和峰电价时间段; C_I 、 C_{II} 和 C_{III} 分别为当月第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电价; W 为本月初至当前实际消耗的电能; W_I 、 W_{II} 和 W_{III} 分别为当月

第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电量；对于与运行时间和环境温度有关的家电，电费支出按公式(1)、(2)和(3)进行计算；对于与温度无关的家电，则电费支出按公式(2)计算；取家电运行电费支出最低的时间段作为该家电投入运行的最终控制时间；控制方式采用电力载波 PLC 方式，通过控制家电的控制终端实现对家电的投入或退出操作；

所述分布式电源投入运行的盈亏：

$$Y = W_{DG}(\alpha C_s + S - R) \quad (4)$$

其中， W_{DG} 表示分布式电源的发电量，由分布式电源接入装置通过 PLC 方式传输给智能电表； α 为阶梯电价系数； C_s 为分时电价； S 表示每度电的度电补贴，这三个参数是由主站的 AMI 通过以太网传输到居民用户智能电表； R 为分布式电源每发一度电的运行成本，包括设备的折旧费和维护费；当计算的运行盈亏值 Y 大于 0 时，表示投入分布式电源运行后可盈利，即可投入分布式电源，否则，切除分布式电源；

分布式电源的接入容量不能超过接入点的最大容许容量，即分布式电源的投入容量受以下公式约束

$$P_{DG} \leq P_{max} \quad (5)$$

其中， P_{DG} 为接入的所有分布式电源的总功率； P_{max} 为分布式电源接入点容许的最大接入容量，该参数通过以太网从主站的 AMI 获取；

居民用户智能电表实时对公式(4)的运行盈亏进行计算，若盈亏值 Y 大于 0，且满足公式(5)，则投入容量为 P_{DG} 的分布式电源运行，若不满足公式(5)，则投入容量为 P_{max} 的分布式电源运行；投入分布式电源运行是由居民用户智能电表采用 PLC 方式向相应的分布式电源的接入装置发送投入运行命令，由分布式电源接入装置控制分布式电源的投入运行；

对于阶梯电价和分时电价，采用如下公式进行电费计算

$$\begin{cases} Z_M = \frac{C_I}{C_{II}} \sum_{d=1}^D \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} & , W_M \leq W_I \\ Z_M = \frac{C_I}{C_{II}} \left(\sum_{d=1}^{U_1-1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1}^{U_1} \sum_{g=1}^{V_1} C_{Sdg} W_{dg} \right) + \left(\sum_{d=U_1+1}^{U_1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1+1}^D \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} \right) & , W_I < W_M \leq W_{II} \\ Z_M = \frac{C_I}{C_{II}} \left(\sum_{d=1}^{U_1-1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1}^{U_1} \sum_{g=1}^{V_1} C_{Sdg} W_{dg} \right) + \left(\sum_{d=U_1+1}^{U_1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1+1}^{U_2-1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_2}^{U_2} \sum_{g=1}^{V_2} C_{Sdg} W_{dg} \right) \\ \quad + \frac{C_I}{C_{II}} \left(\sum_{d=U_2+1}^{U_2} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_2+1}^D \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} \right) & , W > W_{II} \end{cases} \quad (6)$$

其中， Z_M 为当月实际电费支出； C_I 、 C_{II} 和 C_{III} 分别为当月第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电价； C_{Sdg} 为一月中的第 d 天的第 g 段的分时电价； W_{dg} 为一月中的第 d 天的第 g 段时间消耗的电能； W_M 为当月消耗的电量； W_I 、 W_{II} 和 W_{III} 分别为当月第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电量； D 为本月的天数； G 为分时电价在一天划分的段数； U_1 、 V_1 、 U_2 和 V_2 为一月中的第 U_1 天第 V_1 段时间和第 U_2 天的第 V_2 段时间，且满足如下公式：

$$\begin{cases} W_{\text{I}} = \sum_{d=1}^{U_1-1} \sum_{g=1}^G W_{dg} + \sum_{d=U_1}^{U_1} \sum_{g=1}^{V_1} W_{dg} \\ W_{\text{II}} = \sum_{d=1}^{U_2-1} \sum_{g=1}^G W_{dg} + \sum_{d=U_2}^{U_2} \sum_{g=1}^{V_2} W_{dg} \end{cases} \quad (7)$$

根据从主站的 AMI 获取的阶梯电价和分时电价,结合可控家电与分布式电源的状况,确定可控家电和分布式电源的最优运行时间段;根据最优运行时间段对相应家电的控制终端或分布式电源接入设备发送相应命令;发送命令采用中断方式,中断分为两类,一类是运行时间段起始中断,另一类为运行时间段结束中断;当相应的时间到时,即进入相应的中断服务子程序,控制相应的家电控制终端或分布式电源接入装置,使相应的家电或分布式电源投入或退出运行。

2. 如权利要求 1 所述的适用于智能电网的居民用户智能电表系统,其特征是,所述智能电表包括主控模块、数据处理模块、计量模块、电气量输入模块、触摸屏模块、存储模块、实时时钟模块、以太网模块、PLC 通讯模块和 RS232/485 模块;主控模块主要负责通讯和人机接口,实现触摸屏的输入和输出、历史数据的存储、月电量冻结、以太网通讯、PLC 通讯、RS232/485 通讯和实时时钟输入,实时时钟模块实现万年历实时时钟输入;数据处理模块负责电能计量、电费计算、电流和电压电气量的数据采集、数字滤波和电压有效值、电流有效值、功率因数、有功功率和无功功率计算;数据处理模块根据阶梯电价、分时电价、可控家电和分布式电源状况,制定可控家电和分布式电源的最优工作时间段决策;数据处理模块根据当前电气参数制定对家用电器的保护决策,并将决策结果发送给主控模块,由主控模块实现对家用电器的最优控制。

3. 如权利要求 2 所述的适用于智能电网的居民用户智能电表系统,其特征是,所述主控模块采用 MCF5272 芯片,数据处理模块采用 DSP 芯片和大规模现场可编程逻辑阵列 FPGA, DSP 芯片与 MCF5272 芯片间通过 DMA 通信;模拟电压和电流信号经过模拟输入变压器或飞电容转换,然后滤波,再经过一个 8 选 1 CMOS 多路转换器选择,多路转换器的输出由电压跟随放大器驱动,送入高速 16 位 A/D 转换器转换为数字量, A/D 的输出以串行数据流的形式送入 DSP 进行处理,每周波采样 128 个点。

4. 如权利要求 1 所述的适用于智能电网的居民用户智能电表系统,其特征是,所述控制终端采用片上系统 MC13213,该终端通过 PLC 通讯接收到智能电表的通断电源命令后,通过输出驱动电路 MC1413 控制电磁继电器,控制可控家电通断电源;电磁继电器的状态通过光电隔离器后送至 MC13213,实现对可控家电的通断电源状态监测;家电的温度测量采用数字温度传感器 DS18B20,通过串行数据流送入 MC13213 进行处理。

5. 如权利要求 1 所述的适用于智能电网的居民用户智能电表系统,其特征是,所述智能电表且支持阶梯电价、分时电价和月电量冻结,根据阶梯电价和分时电价信息以及用户的用电信息,对居民用户进行用电电费计算。

一种适用于智能电网的居民用户智能电表系统

技术领域

[0001] 本发明涉及智能家居、智能电表和智能电网领域,尤其涉及适用于智能电网的居民用户智能电表系统。

背景技术

[0002] 在智能电网时代,借助先进的信息通信技术,根据调度需求进行负荷响应成为可能,可以解决清洁能源大规模接入电网,电力用户的所有负荷特别是弹性负荷不再是随机地投入电网,而是有组织、有计划地投入电网。参见殷树刚,苗文静,拜克明(Yin Shugang, Miao Wenjing, Bai Keming). 著:准实时电价策略探析(Discussion of quasi real-time price strategy). 电力需求侧管理(Power DSM),2011,13(1):20-23。这就要求供电部门和居民用户之间实现信息互动,让电力用户主动参与到电力市场及电力服务中,实现电力负荷的削峰填谷,以提高供电质量和供电可靠性。由于居民用户数量众多,用户负荷中40%为弹性负荷,用电时间选择余量大;而且,随着分布式电源的发展,分布式电源将深入千家万户,因此,根据现行的阶梯电价和分时电价,可以使居民在低谷用电,减少高峰用电,并鼓励居民用户接入分布式发电与储能设备参与削峰填谷。要求居民根据阶梯电价和分时电价情况做出对家用电器的最优投入运行决策。若该决策由人工制定,则需要用户投入较大的工作量,无法实现。要求由智能电表做出对家电和分布式电源控制的智能决策,传统智能电表至多能实现双向计量功能,不具有智能决策功能。因此,设计根据阶梯电价和分时电价实现对家用电器进行智能控制的智能电表具有重要的意义。

发明内容

[0003] 本发明的目的是为了克服传统智能电表无法根据阶梯电价和分时电价对家居用户进行计费;无法根据阶梯电价和分时电价情况实现对家电的智能控制,使电费支出最低;无法根据阶梯电价和分时电价情况实现对分布式电源的智能控制,使其收益最高的问题,本发明提供一种适用于智能电网的居民用户智能电表系统,实现电力负荷的削峰填谷,提高供电质量和供电可靠性。

[0004] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0005] 一种适用于智能电网的居民用户智能电表系统,在每户居民的家居中装设一台具有双向计量功能的智能电表,在每台可控家电和用户开关处均装设一台控制终端,在每台分布式电源处均装设一台分布式电源接入装置,智能电表与控制终端和分布式电源接入装置通过 PLC 通讯网络互连,智能电表还与可控家电连接;智能电表与主站通过以太网互联,与主站的高级测量体系 AMI 进行信息交互,并对控制终端和分布式电源接入装置进行控制,监视用户开关状态。

[0006] 所述智能电表包括主控模块、数据处理模块、计量模块、电气量输入模块、触摸屏模块、存储模块、实时时钟模块、以太网模块、PLC 通讯模块和 RS232/485 模块;主控模块主要负责通讯和人机接口,实现触摸屏的输入和输出、历史数据的存储、月电量冻结、以太网

通讯、PLC 通讯、RS232/485 通讯和实时时钟输入,实时时钟模块实现万年历实时时钟输入;数据处理模块负责电能计量、电费计算、电流和电压电气量的数据采集、数字滤波和电压有效值、电流有效值、功率因数、有功功率和无功功率计算;根据阶梯电价、分时电价、可控家电和分布式电源状况,制定可控家电和分布式电源的最优工作时间段决策;根据当前电气参数制定对家用电器的保护决策;将决策结果发送给主控模块,由主控模块实现对家用电器的最优控制。

[0007] 所述主控模块采用 MCF5272 芯片,数据处理模块采用 DSP 芯片和大规模现场可编程逻辑阵列 FPGA,DSP 芯片与 MCF5272 芯片间通过 DMA 通信;模拟电压和电流信号经过模拟输入变压器或飞电容转换,然后滤波,再经过一个 8 选 1 CMOS 多路转换器选择,多路转换器的输出由电压跟随放大器驱动,送入高速 16 位 A/D 转换器转换为数字量,A/D 的输出以串行数据流的形式送入 DSP 进行处理,每周波采样 128 个点。

[0008] 所述控制终端采用片上系统 MC13213,该终端通过 PLC 通讯接收到控制器的通断电源命令后,通过输出驱动电路 MC1413 控制电磁继电器,控制可控家电通断电源;电磁继电器的状态通过光电隔离器后送至 MC13213,实现对可控家电的通断电源状态监测;家电的温度测量采用数字温度传感器 DS18B20,通过串行数据流送入 MC13213 进行处理。

[0009] 所述智能电表且支持阶梯电价、分时电价和月电量冻结,根据阶梯电价和分时电价信息以及用户的用电信息,对居民用户进行用电电费计算。

[0010] 所述智能电表从主站获取阶梯电价、分时电价、家电类型、家电运行时间、居民对家电运行状态的期望值、环境温度条件,计算当日各时间段家电运行的电费支出,取电费支出最低的时间段作为家电运行的时间段,由智能电表通过 PLC 通讯方式向家电处的控制终端发送投入命令,实现对家电的运行费用最低控制。

[0011] 所述智能电表根据从主站获取的阶梯电价、分时电价、度电补贴、分布式电源运行成本和分布式电源的发电量计算分布式电源投入运行的盈亏;若盈亏值大于 0,且分布式电源满足接入点的最大容许容量限制,则由智能电表通过 PLC 通讯方式向相应分布式电源的接入装置发送投入命令,使相应的分布式电源投入运行;若盈亏值小于 0,则使分布式电源停止运行。

[0012] 所述家电在各时间段的运行电费支出;

$$[0013] \quad Z_a = Z_{th} + Z_{ad} \quad (1)$$

$$[0014] \quad Z_{th} = \begin{cases} \alpha C_{S1} P \Delta t & , \Delta t_{S1} \geq \Delta t \\ \alpha C_{S1} P \Delta t_{S1} + \alpha C_{S2} P (\Delta t - \Delta t_{S1}), & \Delta t_{S1} < \Delta t \end{cases} \quad (2)$$

$$[0015] \quad Z_{ad} = \begin{cases} \frac{t_e - t_c}{t_i} W_i \alpha C_{S1} & , t_e \geq t_c, \Delta t_{S1} \geq \Delta t \\ \frac{t_e - t_c}{t_i} W_i \alpha C_{S2} & , t_e \geq t_c, \Delta t_{S1} < \Delta t \\ \frac{24 + (t_e - t_c)}{t_i} W_i \alpha C_{S1}, & t_e < t_c, \Delta t_{S1} \geq \Delta t \\ \frac{24 + (t_e - t_c)}{t_i} W_i \alpha C_{S2}, & t_e < t_c, \Delta t_{S1} < \Delta t \end{cases} \quad (3)$$

$$[0016] \quad \text{其中, } C_{Si} = \begin{cases} C_V & , t_r \subset t_V \\ C_F & , t_r \subset t_F \\ C_P & , t_r \subset t_P \end{cases}; \alpha = \begin{cases} C_I/C_{II} & , W \in W_I \\ 1 & , W \in W_{II} \\ C_{III}/C_{II} & , W \in W_{III} \end{cases}$$

[0017] Z_a 为家电的实际电费支出; Z_{th} 为家电的理论电费支出; Z_{ad} 为家电由于提前运行完成产生的能量损耗所需要的额外电费支出; α 为阶梯电价系数; C_{S1} 为电加热器结束加热时间所处时间段的分时电价; C_{S2} 为电加热器结束加热时间前一时间段的分时电价; P 为家电的功率; Δt 为家电运行时长; Δt_{S1} 为电加热器结束加热时间所处时间段; t_e 为家电期望运行完成的时刻; t_c 为家电理论运行完成的时刻; t_i 为家电温度降低或升高 1°C 所需要的时间; W_t 为该家电每升高或降低 1°C 所消耗的电能; C_{Si} 为第 i 时间段的分时电价; C_V , C_F , 和 C_P 分别为当日谷、平和峰电价; t_r 为家电运行时间间隔; t_V , t_F 和 t_P 分别为当日的谷、平和峰电价时间段; C_I , C_{II} , 和 C_{III} 分别为当月第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电价; W 为本月初至当前实际消耗的电能; W_I , W_{II} , 和 W_{III} 分别为当月第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电量; 对于与运行时间与环境温度有关的家电, 电费支出按公式 (1) 进行计算; 对于与温度无关的家电, 电费支出按公式 (2) 计算; 取家电运行电费支出最低的时间段作为该家电投入运行的最终控制时间; 控制方式采用电力载波 PLC 方式, 通过控制家电的控制终端实现对家电的投入或退出操作; 对电动汽车充电的控制, 根据阶梯电价、分时电价、电动汽车电池状态和用户对充电电池充电状态的期望值, 确定最终充电的时间段, 通过控制分布式电源接入装置实现对电动汽车的投入或退出控制。

[0018] 分布式电源投入运行的盈亏:

$$[0019] \quad Y = W_{DG} (\alpha C_S + S - R) \quad (4)$$

[0020] 其中, W_{DG} 表示分布式电源的发电量, 由分布式电源接入装置通过 PLC 方式传输给智能电表; α 为阶梯电价系数; C_S 为分时电价; S 表示每度电的度电补贴, 这三个参数是由主站的 AMI 通过以太网传输到居民用户智能电表; R 为分布式电源每发一度电的运行成本, 包括设备的折旧费和维护费; 当计算的运行盈亏值 Y 大于 0 时, 表示投入分布式电源运行后可盈利, 即可投入分布式电源, 否则, 切除分布式电源;

[0021] 分布式电源的接入容量不能超过接入点的最大容许容量, 即分布式电源的投入容量受以下公式约束

$$[0022] \quad P_{DG} \leq P_{\max} \quad (5)$$

[0023] 其中, P_{DG} 为接入的所有分布式电源的总功率; P_{\max} 为分布式电源接入点容许的最大接入容量, 该参数通过以太网从主站获取。

[0024] 居民用户智能电表实时对公式 (4) 的运行盈亏进行计算, 若盈亏值 Y 大于 0, 且满足公式 (5), 则投入容量为 P_{DG} 的分布式电源运行, 若不满足公式 (5), 则投入容量为 P_{\max} 的分布式电源运行; 投入分布式电源运行是由居民用户智能电表采用 PLC 方式向相应的分布式电源的接入装置发送投入运行命令, 使分布式电源的投入运行。

[0025] 对于阶梯电价和分时电价, 采用如下公式进行电费计算:

[0026]

$$\begin{cases}
 Z_M = \frac{C_I}{C_{II}} \sum_{d=1}^D \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} & , W_M \leq W_I \\
 Z_M = \frac{C_I}{C_{II}} \left(\sum_{d=1}^{U_1-1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1}^{V_1} \sum_{g=1}^{V_1} C_{Sdg} W_{dg} \right) + \left(\sum_{d=U_1, g=V_1+1}^{U_1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1+1}^D \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} \right) & , W_I < W_M \leq W_{II} \\
 Z_M = \frac{C_I}{C_{II}} \left(\sum_{d=1}^{U_1-1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1}^{V_1} \sum_{g=1}^{V_1} C_{Sdg} W_{dg} \right) + \left(\sum_{d=U_1, g=V_1+1}^{U_1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_1+1}^{U_2-1} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_2}^{V_2} \sum_{g=1}^{V_2} C_{Sdg} W_{dg} \right) \\
 + \frac{C_I}{C_{II}} \left(\sum_{d=U_2, g=V_2+1}^{U_2} \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} + \sum_{d=U_2+1}^D \sum_{g=1}^G C_{Sdg} W_{dg} \right) & , W > W_{II}
 \end{cases} \quad (6)$$

[0027] 其中, Z_M 为本月实际电费支出; C_I 、 C_{II} 、和 C_{III} 分别为当月第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电价; C_{Sdg} 为一月中的第 d 天的第 g 段的分时电价; W_{dg} 为一月中的第 d 天的第 g 段时间消耗的电能; W_M 为本月消耗的电量; W_I 、 W_{II} 、和 W_{III} 分别为本月第 I 级、第 II 级和第 III 级阶梯电量; D 为本月的天数; G 为分时电价在一天划分的段数; U_1 、 V_1 、 U_2 和 V_2 为一月中的第 U_1 天第 V_1 段时间和第 U_2 天的第 V_2 段时间, 且满足如下公式:

$$[0028] \quad \begin{cases}
 W_I = \sum_{d=1}^{U_1-1} \sum_{g=1}^G W_{dg} + \sum_{d=U_1}^{V_1} \sum_{g=1}^{V_1} W_{dg} \\
 W_{II} = \sum_{d=1}^{U_2-1} \sum_{g=1}^G W_{dg} + \sum_{d=U_2}^{V_2} \sum_{g=1}^{V_2} W_{dg}
 \end{cases} \quad (7)$$

[0029] 本发明通过以太网从主站获取阶梯电价和分时电价信息, 智能电表根据电价信息、家电类型、家电运行时间、居民对家电运行状态的期望值、环境温度等条件, 计算各时间段家电运行的电费支出, 取电费支出最低的时间段作为家电运行的时间段。在运行时间段的起始时刻, 通过电力载波 (PLC) 通信方式向家电的控制终端发送投入运行命令, 使家电投入运行; 当运行时间到时, 智能电表再向家电的控制终端发送退出运行命令, 使家电停止运行。同时, 智能电表根据电价信息、每度电的度电补贴、分布式电源每发一度电的运行成本和分布式电源的发电量计算分布式电源投入运行的盈亏。若盈亏值大于 0, 且分布式电源满足接入点的最大容许容量限制, 则由智能电表通过电力载波 (PLC) 通信方式向相应分布式电源的接入装置发送投入运行命令, 使相应的分布式电源投入运行; 若盈亏值小于 0, 则使分布式电源停止运行。另外, 该智能电表可以实现双向计量功能和月电量冻结功能。

[0030] 本发明的有益效果: 本发明适用于实行阶梯电价和分时电价的居民用户, 以用户电费支出最少为目标, 对居民用户家电和分布式电源进行智能控制, 实现电力负荷的削峰填谷, 提高供电质量和供电可靠性。

附图说明

[0031] 图 1 为本发明智能电表控制系统结构框图;

[0032] 图 2 为本发明智能电表功能模块框图;

[0033] 图 3 为本发明智能电表的硬件结构图;

[0034] 图 4 为本发明控制终端的硬件结构图;

[0035] 图 5 为本发明智能电表控制器的软件流程图。

具体实施方式

[0036] 下面结合附图和具体实施方式对发明作进一步描述。

[0037] 本发明提出的适用于智能电网的居民用户智能电表系统,是通过如下的技术方案实现的,其步骤包括:

[0038] 如图 1 所示为本发明智能电表控制系统结构框图。该系统以智能电表为控制核心,智能电表通过以太网与主站的高级测量体系(AMI)进行信息交互,从 AMI 获取阶梯电价和分时电价信息,并向 AMI 上报用户消耗的电能、电费,以及电压、电流和功率因数等运行参数,以供 AMI 根据用户负荷情况确定分时电价。智能电表根据阶梯电价、分时电价和可控家电情况确定可控家电的最优运行时间段,到相应的时间段起始时刻时,智能电表通过 PLC 通讯方式向控制可控家电的控制终端下达投入运行命令,控制终端使控制家电的电磁继电器闭合,使相应的家电投入运行。同时,智能电表根据阶梯电价、分时电价、分布式电源运行成本和电价补贴,计算分布式电源投入运行的盈亏值大于 0 的时间段,到相应的时间段的起始时刻时,智能电表通过 PLC 通讯方式向分布式电源接入装置下达分布式电源投入运行命令,使相应的分布式电源投入运行。智能电表根据阶梯电价、分时电价和各时段消耗的电能计算本月电费支出,并通过以太网上报主站的 AMI,实现远程抄表功能。智能电表从电压互感器(PT)、电流互感器(CT)的二次侧获取用户的电压和电流状态,并计算功率因数,通过以太网将这些电气参数上报主站的 AMI,以便主站及时调整电气参数,提高供电质量。同时,智能电表根据检测的电压和电流,实现过压、过流、欠压和漏电保护,如果出现相应的故障时,则智能电表通过 PLC 通讯方式向用户开关处的控制终端发送跳闸命令,使用户开关断开,保护家用电器。各控制终端将各开关的状态通过 PLC 线通讯方式上报智能电表,使智能电表可以监视各开关的状态。

[0039] 如图 2 所示为本发明智能电表功能模块框图。智能电表由:主控模块、数据处理模块、计量模块、模拟量输入模块、触摸屏模块、存储模块、时钟模块、以太网模块、PLC 通讯模块和 RS232/485 模块等组成。主控模块主要负责通讯和人机接口,实现触摸屏的输入和输出、历史数据的存储、月电量冻结、以太网通讯、PLC 通讯、RS232/485 通讯和实时时钟输入,实时时钟模块实现万年历实时时钟输入。数据处理模块负责电能计量、电费计算、电流和电压电气量的数据采集、数字滤波和电压有效值、电流有效值、功率因数、有功功率和无功功率计算等;根据阶梯电价、分时电价、可控家电和分布式电源状况,制定可控家电和分布式电源的最优工作时间段决策;根据当前电气参数制定对家用电器的保护决策;将决策结果发送给主控模块,由主控模块实现对家用电器的最优控制。

[0040] 如图 3 所示为本发明智能电表的硬件结构图。主控制器采用 Freescale 公司的 32-bit 微处理器 MCF5272CVF66;数据处理器采用 AD 公司的高集成度单片数字信号处理器 ADSP-2185,它与主控制器之间通过 DMA 方式进行通信;采用一片大规模现场可编程逻辑阵列 FPGA 实现系统的逻辑控制;计量芯片选用 Maxim 公司生产的多功能低功耗计量芯片 MAXQ3180;采用 256K 字节的静态读写存储器(SRAM)、16M 字节 SDRAM、4M 字节电可擦除的闪烁存储器(FLASH RAM),其中,SDRAM 是主控制器的工作内存,SRAM 用于存储重要历史数据;闪烁存储器用于保存装置运行自举程序、操作系统、应用程序、DSP 程序、配置文件等。模拟输入通道中,电压和电流信号经过模拟输入变压器或飞电容转换,然后滤波,再经过一个 8 选 1 CMOS 多路转换器选择,多路转换器的输出由电压跟随放大器驱动,送入高速 16 位 A/D

转换器转换为数字量, A/D 的输出以串行数据流的形式送入 DSP 进行处理。为了提高采样精度, 采用每周波采样 128 个点。PLC 接口采用美国 Intellon 公司生产的一种基于电力载波的扩频收发通信芯片 SSC P300; 实时时钟采用美国 DALLAS 公司 DS1302; 以太网接口采用台湾 Asix 公司的以太口模块 AX11001; 触摸屏采用 TI 公司的触摸屏控制器 ADS7846。

[0041] 如图 4 所示为本发明控制终端的硬件结构图。该控制终端采用 Freescale 公司的片上系统 MC13213, 该终端通过 PLC 通讯接收到控制器的通断电源命令后, 通过输出驱动电路 MC1413 控制电磁继电器, 控制可控家电通断电源; 电磁继电器的状态通过光电隔离器后送至 MCU, 实现对可控家电的通断电源状态监测; 家电的温度测量采用数字温度传感器 DS18B20, 通过串行数据流送入 MC13213 进行处理。

[0042] 如图 5 所示为本发明智能电表控制器的软件流程图。主程序根据从主站获取的阶梯电价、分时电价和可控家电与分布式电源的状况, 确定可控家电和分布式电源的最优运行时间段。根据最优运行时间段对相应家电的控制终端或分布式电源接入设备发送相应命令。发送命令采用中断方式, 中断分为两类, 一类是运行时间段起始中断, 另一类为运行时间段结束中断。当相应的时间到时, 即进入相应的中断服务子程序, 控制相应的家电控制终端或分布式电源接入装置, 使相应的家电或分布式电源投入或退出运行。

[0043] 为了具体描述居民用户智能电表的技术实施方案, 下面以家用电热水器为例, 进行详细描述。假设电热水器的功率为 2000W, 容量为 60L, 电热水器的水的初始温度为 20℃, 电热水器加热后的最终温度为 45℃。则加热完成需要的能量为:

$$[0044] \quad Q = cm \Delta T = 4.2 \times 10^3 \times 60 \times (45 - 20) = 6.3 \times 10^6 \text{ J} = 1.75 \text{ kWh} \quad (8)$$

[0045] 加热需要的时间为:

$$[0046] \quad t = \frac{W}{P} = \frac{Q}{P} = \frac{1.75}{2} = 0.875 \text{ h} = 52.5 \text{ min} \quad (9)$$

[0047] 假设用户期望电热水器加热完成时间为 21:45, 加热完成后, 每 4 个小时, 电热水器的水温降低 1℃, 相应损耗的能量为:

$$[0048] \quad \Delta Q = cm \Delta T = 4.2 \times 10^3 \times 60 \times 1 = 2.52 \times 10^5 \text{ J} = 0.07 \text{ kWh} \quad (10)$$

[0049] 设当月的阶梯电价如表 1 所示, 当日的分时电价如表 2 所示。设 $\alpha = 1$, 根据公式 (2) 计算的电加热器在各时间段运行的理论电费支出如表 2 所示。因为若电热水器在每段分时电价结束时间完成加热, 额外消耗的能量最小, 所以将电热水器加热完成时间设定为在相应分时电价的结束时间, 电热水器的加热起始时间为分时电价结束时间减电热水器的加热时间。若电热水器提前完成加热, 存在能量损耗, 需要额外电费支出, 根据公式 (3) 计算的电加热器在各时间段运行的额外电费支出如表 2 所示。根据公式 (1) 计算的电加热器在各时间段运行时的实际电费支出如表 2 所示。由表 2 可知, 电加热器在 7:00 完成加热实际支出最少, 因此电加热器的起始运行时刻为: $7 - 0.875 = 6.125$, 即在 6:07:30 时将电加热器投入运行, 电费实际支出为 0.8434。由于从 7:00 加热完成至用户使用时间 21:45 期间存在能量损失, 需要将水的温度加热到高于 45℃, 以满足用户使用时的 45℃ 水温要求。因此, 需要提前对电加热器进行加热, 提前时间为:

$$[0050] \quad t' = \frac{t_e - t_c}{P} \times W_i = \frac{21.75 - 7}{4} \times 0.07 \times 60 = 7.74375 \text{ min} \quad (11)$$

[0051] 因此, 电加热器的实际运行时刻为: $6:07:30 - 0:07:45 = 5:59:45$ 时, 加热结束时

刻为 :7:00。

[0052] 表 1 阶梯电价

[0053]

电量级别	电量 W(kWh)	电价 C(元)
第 I 级	0-140	0.36
第 II 级	140-270	0.6
第 III 级	> 270	0.9

[0054] 表 2 分时电价和电热水器的电费支出

[0055]

时间	0:00-7:00	7:00-10:00	10:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00	21:00-23:00	23:00-24:00
分时电价(元)	0.42	0.6	0.75	0.6	0.75	0.6	0.42
理论支出(元)	0.735	1.05	1.3125	1.05	1.3125	1.0875	0.735
额外支出(元)	0.1084	0.1234	0.0886	0.0394	0.0098	0	0.1599
实际支出(元)	0.8434	1.1734	1.4011	1.0894	1.3223	1.0875	0.8949

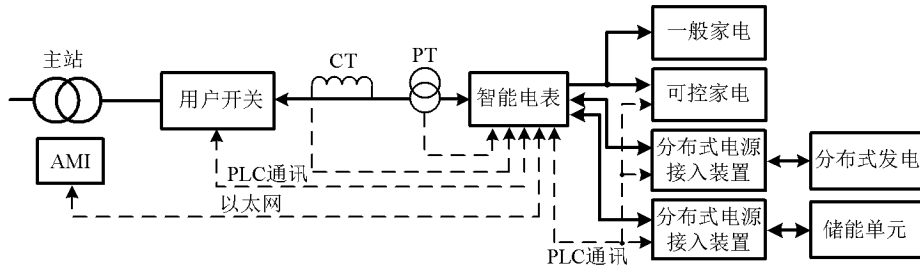


图 1

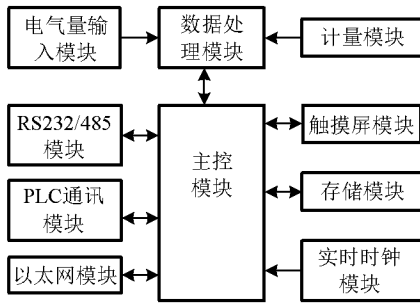


图 2

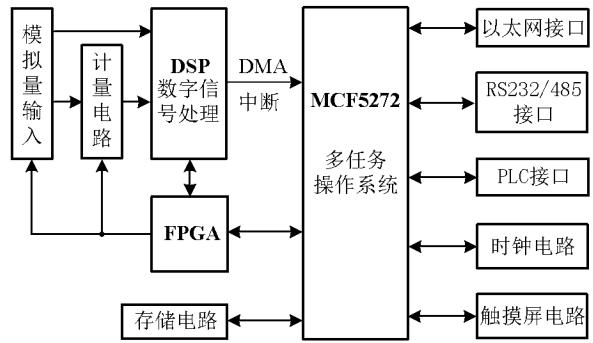


图 3

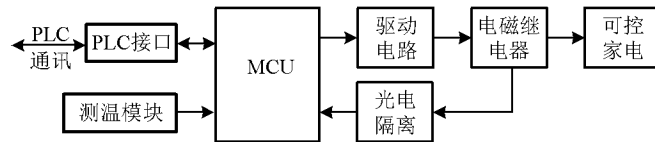


图 4

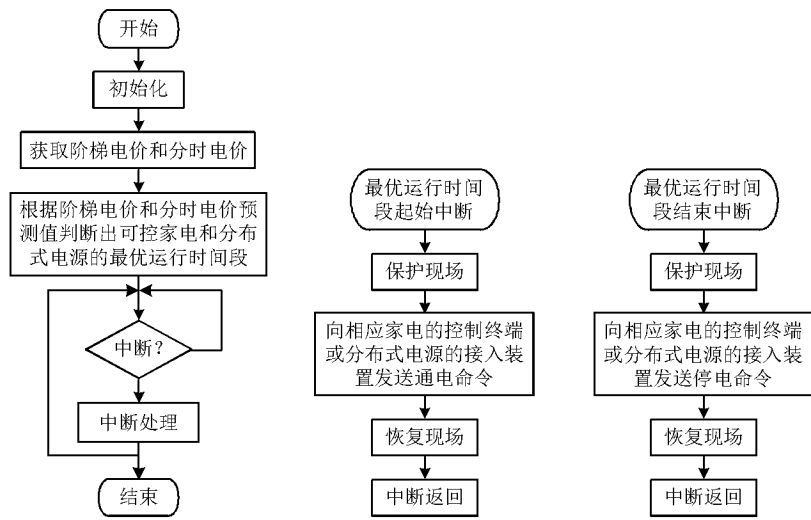


图 5