

零能耗小屋能源管理与智能监控系统的设计与实现

陆连强¹, 郑将辉², 王志¹, 张琳¹, 薛文东¹, 洪永强^{1*}

(1. 厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学能源研究院, 福建 厦门 361002)

摘要: 针对 2013 中国国际太阳能十项全能竞赛比赛规则及零能耗建筑的特点, 结合比赛地点山西大同的气候数据, 给出了厦门大学参赛作品, 零能耗小屋 Sunny Inside 的能源管理与智能监控系统设计方案。以光伏建筑一体化理论为基础, 设计 15.25kW 光伏并网发电系统, 并用相关软件对能耗平衡进行了模拟验证。以三菱 PLC 为核心, 构建了能源管理与智能监控系统, 分析了不同条件下空调、相变及遮阳系统的控制策略, 并给出具体实现方法。

关键词: 零能耗建筑; 光伏系统; 能源管理; 智能监控

中文分类号: TM615 文章标示码: A

Design and implementation of the energy management and intelligent monitoring system of a zero energy consumption house

LULian-qiang¹, ZHENGJiang-hui², WANG Zhi¹, Zhang Lin¹, XUE Wen-dong¹, HONG yong-qiang^{1*}

(1. School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering Xiamen University, Xiamen361005, China;

2. School of Energy Research Xiamen University, Xiamen361002, China)

Abstract: According to the rules of the Solar Decathlon China 2013 and the characteristics of zero energy consumption house, combining with the climate data in competition city—Datong Shanxi, an energy management and intelligent monitoring system for the zero energy consumption house called Sunny Inside from Xiamen University was born. A 15.25kW photovoltaic grid connected power system was designed based on building integrated photovoltaic theory, and used relevant simulation software to test energy balance property. An energy management and intelligent monitoring system was constructed based on Mitsubishi PLC, analyzed the control strategy of heating ventilation and air conditioning, phase-change material and shading system under different conditions, and gave a concrete realization method.

Keywords: zero energy consumption house; photovoltaic system; energy management; Intelligent monitoring

2013 中国国际太阳能十项全能竞赛由中国能源局和美国能源部联合主办, 竞赛要求来自世界各地高校的大学生团队利用技术与创意, 于 2013 年 8 月在参赛地点山西大同建造一座建筑建筑面积 60~100m², 以太阳能作为该住宅运行和生活能源的唯一来源, 并配有洗衣机、空调、冰箱、电磁炉、热水器等日常家用电器, 能完全满足日常生活要求的零能耗小屋。组委会最终针对建筑设计、市场推广、工程技术、宣传展示、太阳能应用、舒适程度、热水供应、家用电器、家庭娱乐、能耗平衡 10 项指标进行评分^[1]。

零能耗建筑的设计重点和难点在于对节能、建筑物理环境调控及能源自给的综合管控。现阶段的相关商用产品中, 能源管理与建筑智能控制是独立的, 能源管理系统只考虑建筑节能而未考虑用户个体舒适度, 而建筑智能控制系统偏向于考虑用户使用的便捷与舒适性, 对能量的供给没有限制^[2]。以 PLC 为核心,

将能源管理系统与智能监控系统整合为一个有机整体, 并通过仿真和实验, 评估该系统对能源管理与物理环境调节的综合管控能力。

1 能源管理系统设计

1.1 光伏发电系统设计

1.1.1 倾角和安装方式设计

参赛地点山西大同位于北纬 113°, 东经 40°, 海拔 1000m, 温带大陆性季风气候。根据当地气候资料, 结合建筑结构, 发电量计算与仿真, 最终确定如图 1 所示的光伏与建筑一体化设计方案^[3], 即在斜屋顶屋面上铺设共计 61 块 1662×994 的光伏组件, 所有光伏组件的安装角度均为 12°, 组件和屋面间有 800mm 的间隙, 既可以保证组件充分散热, 又使安装维护便捷。

1.1.2 分组串接与并网设计

Sunny Inside 电气系统如图 2 所示。光伏并网系统含 61 块 250kw 的 CHSM6610P 多晶硅组件, 系统

收稿日期: 2014-03-12



图 1 坐落在比赛场地的 Sunny Inside

装机容量 15.25kW。为实现对所有光伏组件的最大功率跟踪^[4],将系统直流侧分成两个独立回路。回路 A 含 40 块组件,回路 B 含 21 块组件,A、B 两个回路分别接入可实现对两个独立回路进行最大功率跟踪的 SUNNY TRIPOWER 15000TL 三相并网逆变器(1)的 A、B 输入端^[5]。逆变器输出交流电经过光伏并网断路器(5)和光伏电表(6),最后在主配电柜(7)实现并网。

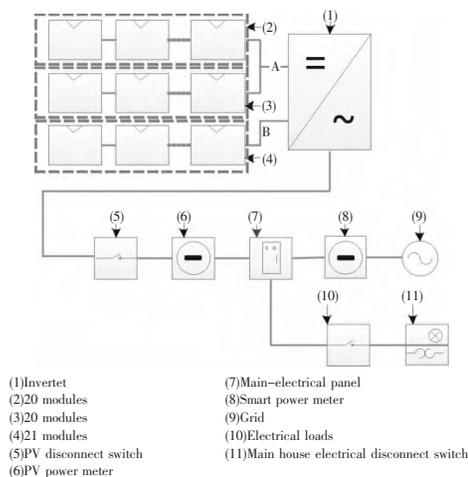


图 2 Sunny Inside 电气系统

1.1.3 能耗平衡模拟

根据建筑围护结构的保温性能参数,及建筑内各电器的实际功率和运行情况,可以模拟得到建筑的全年能耗情况,如图 3 所示。

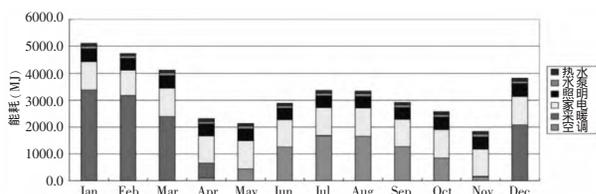


图 3 全年建筑电耗模拟

小屋全年能耗平衡情况模拟如图 4 所示,可看出,全年只有 1 月份发电量略低于用电量,光伏发电系统全年发电量为 17202 kWh,建筑全年用电量为 10875 kWh,盈余为 6327 kWh,满足零能耗设计要求。

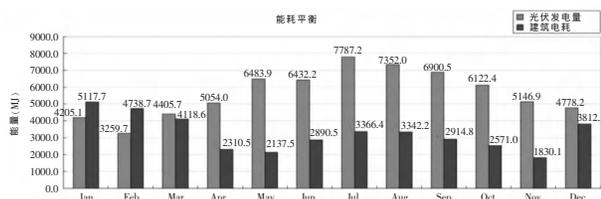


图 4 全年能耗平衡模拟

1.2 能耗监控系统设计

能耗监控系统的结构如图 5 所示,电流传感器(7)采集 5 个主要用电回路的电流,并将数据传输给电能监测模块(6)EcoMonitorPro。另外两个电流传感器(8)分别采集光伏发电系统和用电总回路的电流,并将数据发给两个智能电表(9)ME 96。电能监测模块(6)和两个智能电表(9)将能耗数据通过 CC-Link 总线发送到 PLC(1)和 EcoWebServerIII(4)。EcoWebServerIII 将获取数据进行统计分析,生成各回路能耗每日图表、每月图表等,用户可从图表中直观地了解各回路能耗状况,并制定相应的节能计划;PLC 将获取的数据反馈给智能监控系统,为智能监控提供判断条件,并通过网络将数据发送到触摸屏 GOT1000^[7](2),用户通过触摸屏,即可读取各回路实时能耗数据。

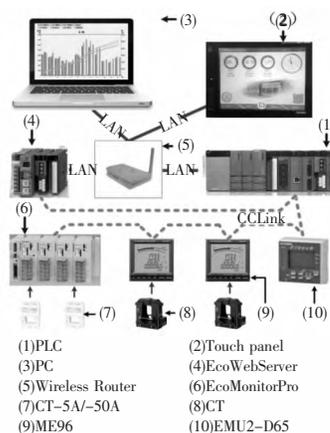


图 5 能耗监控系统

2 智能监控系统设计

2.1 系统结构与原理

智能监控系统结构如图 6 所示,温湿度传感器(2)采集的卧室、客厅、厨房、中庭的温湿度数据,CO₂传感器(3)采集的卧室、客厅和厨房的 CO₂ 浓度数据,小型气象站(4)采集的室外光照强度、降雨量、温湿度、风速和风向数据,都通过 485 协议传送到 PLC。PLC 将传感器采集的环境数据与能耗监控系统反馈的能耗数据进行综合逻辑判断,并给出相应控制指令,实现对三菱小型家用中央空调(6)、新风系统(7)、

相变材料系统(5)及天窗和外遮阳(8)的协同控制,达到节能降耗的目的。

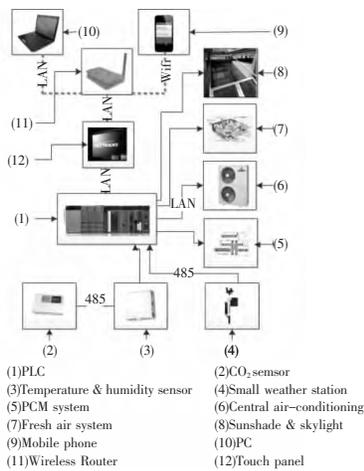


图6 智能监控系统

2.2 中央空调控制

Sunny Inside 安装了三菱家用中央空调,该空调为一拖三的多联机。中央空调选配一个网络控制模块,通过网络与 PLC 通信。PLC 可根据温湿度传感器采集到的数据按照节能程序控制,保证室内的温湿度得到精确控制的前提下,降低系统能耗。

2.3 新风系统控制

Sunny Inside 的新风系统采用三菱的热回收风机 LGH-15RS4-C, 设置新风管道通往建筑内的 3 个房间, 每个房间的进风和排风口附近设置有电动风阀, PLC 可根据 CO₂ 传感器采集的数据控制新风阀门及热回收风机开关。

2.4 相变材料系统控制

相变材料在相变过程中的潜热量巨大, 具有轻质、蓄热能力强, 储热和放热过程中温度基本不变等优点^[8]。Sunny Inside 在建筑客厅的吊顶上方安装了一根相变材料储能风管, 风管内装有用铝箔袋封装的相变材料。风管配有一台风机, 进出风口上设有电动风阀, 风阀和风机由 PLC 根据传感器数据结合气象数据做出判断后进行控制。该系统可以利用昼夜温差实现节能, 在夜间时将风管的室外通风口打开, 利用室外的冷空气为相变材料降温蓄冷, 白天需要时关闭室外通风口, 开启室内通风口, 利用夜间蓄积的冷量为室内降温, 能部分替代空调的作用。

2.5 天窗和外遮阳控制

中庭(见图7)L型阳光房有采光和调温功能。对天窗和外遮阳的合理控制,一方面可将阳光均匀分布到各个室内空间,保证小屋良好的采光,节约照明能

源;另一方面,还可以作为能量存储及温差缓冲空间,降低空调能耗。

天窗和外遮阳的开启关闭由 PLC 输出模块 QY40P 相连的继电器控制。PLC 根据采集到的中庭温度、室外温度、室外光照强度、风速及降雨情况,做出综合判断并决定天窗和外遮阳的开关情况。



图7 Sunny Inside 中庭

3 实际运行结果

竞赛期间(8月1日9:00至8月11日24:00)太阳辐照强度和逆变器输出功率的关系曲线如图8所示,除8月7日全天阴雨日照强度较低外,其它几天的日照情况都十分优良,太阳辐射在中午12:15左右达到峰值,此时,逆变器的输出功率可达12.8kW,与仿真结果基本一致。

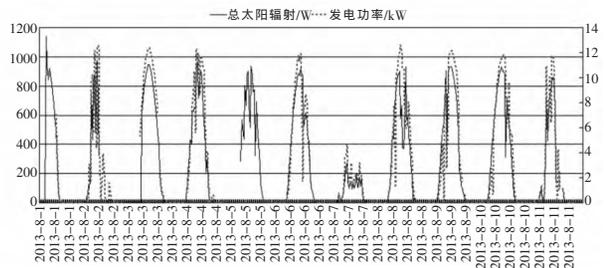


图8 比赛期间太阳辐射与发电功率曲线

图9为经过10天的测试,所有参赛队的发电量、用电量盈余电量的统计图,由于竞赛期间大部分为晴天,所有的队伍都顺利实现了能耗平衡。XMU(厦门大学)能耗平衡表现尤为突出,其光伏发电量在参评的19支队伍中位居第一,达492.33kWh;用电量最少(图中显示用电量最少的 HELIOMET 和 ALGU, 其比赛期间空调故障不能工作),为112.18kWh;盈余电量最多,达380.15kWh。

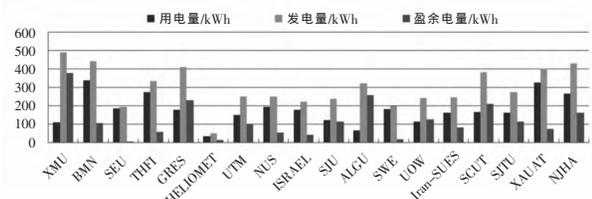


图9 各参赛队能耗平衡结果

参考文献

[1] Solar Decathlon [EB/OL]. [2012-12-31]. http://cn.sdchina.org/download/Revised_SDC2013_Rules_V2.0.pdf
 [2] 杨向群. 零能耗太阳能住宅原型设计与技术策略研究 [D]. 天津: 天津大学, 2012
 [3] Riffat S B, Wilson R, Omer S. BIPV design study for renewable energy centre and eco-energy house[M]. 2000
 [4] Efram T, Chapman P L. Comparison of phot-ovoltaiac array maximum power point tracking tec-hniques[J]. IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION EC, 2007, 22(2): 439
 [5] SUNNY TRI POWER 15000TL data sheet [EB/OL].

[2011-11-22]<http://filessmade/dl/8552/STP17000TL-DEN133118w.pdf>
 [6] QnUCPU User's Manual. [EB/OL]. [2010-08-01]. http://cn.mitsubishielectric.com/fa/zh/download/dwn_idx_manual.asp
 [7] GOT1000 Series Connection Manual. [EB/OL]. [2012-12-01]. http://cn.mitsubishielectric.com/fa/zh/download/dwn_idx_manual.asp
 [8] Edwin Rodriguez-Ubinas, Letzai Ruiz-Valero, Sergio Vega, et al. Applications of Phase Change Material in highly energy-ef?cient houses [J]. Energy and Buildings, 2012, 50: 49-62

(上接第 31 页)

的微分方程组。通过 Matlab 获得 $[e, \dot{e}]$ 初值分别为 $[-25, 0]$ 、 $[-13, 0]$ 、 $[3, 0]$ 、 $[14, 0]$ 、 $[22, 0]$ 时的相平面图(如图 12 所示)和 e 的时域曲线图(如图 13 所示)^[8]。

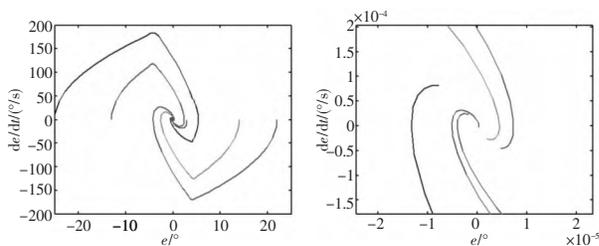


图 12 作死区非线性补偿后系统 e, \dot{e} 的相平面图

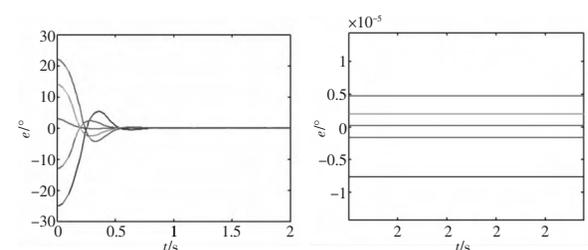


图 13 作死区非线性补偿后系统 e 时域曲线图

从图 12、图 13 可以看出, 在做死区非线性补偿后, 系统的控制误差迅速减小至 1×10^{-4} 以内, 理论上, 这个误差可以无限趋近于 0。虽然实际的控制一定还会存在误差, 但是, 这个误差和不补偿的情况相比已经大大减小。可以说, 实施了死区非线性补偿后, 死区带来的副作用已经完全消除。

5 结语

(1) 对于带有死区非线性和饱和非线性环节的控制系

统, 如果只采用一般的 PID 控制手段, 控制系统只能把偏差控制在死区范围内, 进一步提高控制的精度是不可能的。

(2) 使用死区逆变换的非线性补偿方法可以有效地缩小控制的死区, 提高控制的精度。

(3) 由于死区范围不可能准确地测量, 进一步的研究发现, 使用死区非线性必须确保补偿函数使用死区小于真正的死区, 同时需要保留一定的控制裕度。如果补偿函数使用的死区超出了真正的死区, 则会导致控制系统震荡, 控制系统的误差变得不可预测, 导致其丧失工程应用的价值。

参考文献

[1] 陶洪峰, 胡寿松. 具有饱和死区非线性输入的自适应滑模跟踪控制[J]. 信息与控制, 2009, 38(3)
 [2] 王印松, 田瑞丽. 死区非线性系统特征分析及补偿控制[J]. 工业控制与应用, 2006, 25(3)
 [3] 董铸荣, 贺萍, 邱浩, 等. 各轮独立转向及驱动的电动汽车及其转向与驱动控制方法[P]. 中国. 200910310310. 2, 2010-06-02
 [4] 邓志君, 董铸荣, 马德粮. 电动轿车独立转向轮悬架设计[J]. 汽车技术, 2010(12)
 [5] 沈启坤, 张天平, 孙妍. 具有死区和饱和输入的自适应混沌控制[J]. 物理学报, 2002, 56(11)
 [6] 吴麒, 王诗宓. 自动控制原理(第 2 版)(下册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 10-60
 [7] 周立芳, 钱积新. 具有死区非线性补偿的预测控制[J]. 自动化仪器与仪表, 2001(1)
 [8] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 1-12