

小型风—光—沼互补发电控制系统的设计与仿真

王康¹, 吴佳文², 吴仕宏¹, 刘博林³, 吴军⁴

(1. 沈阳农业大学 信息与电气工程学院, 辽宁 沈阳 110866;

2. 国网沈阳市东陵区供电公司, 辽宁 沈阳 110015;

3. 中国人民解放军空军工程大学 信息与导航学院, 陕西 西安 710077;

4. 国网辽阳供电公司, 辽宁 辽阳 111000)

摘要:为提升风—光—沼互补发电系统的供电可靠性和智能化控制,设计一套以STC8F系列单片机为核心的小型风—光—沼互补发电控制系统,介绍系统的工作原理,并对软硬件进行设计,该控制器可以控制各个发电子系统协调工作,对蓄电池进行合理的充放电管理,并能实现对系统的最大功率点的跟踪(MPPT)。通过Proteus和Matlab等软件对整个控制系统的设计和控制过程进行仿真和数据分析,仿真结果表明:该系统运行可靠,适用性强,可广泛应用于多种能量互补的智能控制。

关键词:风—光—沼互补发电;单片机;智能控制系统;最大功率跟踪;设计与仿真

中图分类号:TM564.8;TK323 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed19204

Design and Simulation for Small Wind-solar-biogas Hybrid Power Generation Control System

WANG Kang¹, WU Jiawen², WU Shihong¹, LIU Bolin³, WU Jun⁴

(1. College of Information and Electrical Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning,

China; 2. State Grid Shenyang Dongling Area Electric Power Supply Branch, Shenyang 110015,

Liaoning, China; 3. Institute of Information and Navigation, The People's Republic of

China Air Engineering University, Xi'an 710077 Shaanxi, China; 4. State Grid Liaoyang

Electric Power Supply Company, Liaoyang 111000, Liaoning, China)

Abstract: In order to improve the power supply reliability and intelligent control of the wind-solar-biogas complementary power generation system, a set of wind-solar-biogas hybrid power generation control system based on STC8F series microcontrollers was designed, and the working principle of the system was introduced. The software and hardware were designed. The controller can control the coordination of each power subsystem, manage the battery charge and discharge reasonably, and achieve the maximum power point tracking(MPPT) of the system. The simulation and data analysis of the whole control system design and control process were carried out by software such as Proteus and Matlab. The simulation results show that the system is reliable and adaptable, and can be widely used in a variety of intelligent control of energy complementarity.

Key words: wind-solar-biogas complementary generation; microcontroller; intelligent control system; maximum point power tracking(MPPT); design and simulation

太阳能、风能和沼气作为清洁的可再生能源,利用其发电已成为非常重要的电能获取方式,尤其是在常规电网覆盖不到的偏远地区,将这3种能源进行互补发电可以很好地保障该地区日常生产和生活中的电力供应。目前,太阳能、

风能和沼气等能源的发电技术以及它们联合发电的多能互补发电方式已较为成熟^[1-5],但是对于现有的互补发电控制系统来说,由于前期投入成本高,效率低,不能完全实现智能化控制,制约了多能互补发电系统的进一步推广与应用^[6]。

基金项目:十二五国家科技支撑项目(2012BAJ26B00);辽宁省科学技术计划项目(2014027001)

作者简介:王康(1994-),男,硕士研究生,Email:494944088@qq.com

通讯作者:吴仕宏(1969-),男,博士,教授,Email:shihong.1@163.com

本文以太阳能、风能和沼气能构建的多能互补独立发电控制系统为研究对象,以STC8F系列单片机中的STC8A4K64S4A12芯片为控制核心;同时结合最大功率跟踪(MPPT)控制方法,实现了整个系统发电过程中的发电模式的自动切换、最大功率输出和蓄电池的管理,提高了整个系统发电的稳定性和可靠性,使输出功率和能源的利用率得到了较大提升,避免资源浪费。

1 系统设计

1.1 系统构成和工作原理

风—光—沼互补发电系统的整体结构主要由光热发电系统、风力发电系统、沼气发电系统、蓄电池组、主控制系统、逆变器和负载(交直流)组成,如图1所示。



图1 风—光—沼互补发电系统结构

Fig.1 Wind-solar-biogas complementary power system structure

在风—光—沼多能互补发电系统中,以光热发电为主,风力发电为辅,沼气发电和蓄电池组起备用电源的作用。光热发电部分采用槽式太阳能集热场聚集太阳能辐射^[7],发出的三相交流电经过整流和主控制系统协调控制后可提供给直流负载、蓄电池组和经过逆变器提供给交流负载,多余的热量也可以通过储热系统将能量储存起来;风力发电系统采用风力机搭配直流发电机的发电方式,产生的直流电也经过主控制系统的协调控制后提供给直流负载和蓄电池,也可经过逆变器供给交流负载;沼气发电系统使用单燃料沼气发电机^[8],通过沼气燃烧驱动沼气发电机工作,输出电能,多余的热量可以存入储热系统和用作沼气发生器的加热^[9],当系统的输出电能不足时,由蓄电池给负载提供电能;主控制系统采用STC8A4K64S4A12单片机,在光照强度、温度和风速等外界环境因素变化时,通过控制程序来切换和调整系统的运行状态。

1.2 风—光—沼互补发电控制系统的设计

如图2所示,主控制系统以STC8A4K64S4A12芯片为核心控制硬件,硬件电路主要包括信号(电压、电流)采集模块、DC-DC变换模块、驱动模块、显示模块以及报警保护(短路、过压、过流)

模块。信号采集模块将电压和电流信号输入到单片机内进行A/D转换和数据分析;DC-DC变换模块是实现MPPT控制的核心部分^[10],单片机通过定时器产生脉宽可调的PWM信号发送给驱动模块,控制双DC-DC变换电路中的MOSFET管的通断来调节DC-DC变换器的占空比,进行阻抗变换,从而实现最大功率点(MPPT)跟踪控制^[11];显示模块中通过LCD液晶显示器和LED来显示各个系统的工作状态;当电路发生短路、过流和过压等故障时,报警和保护模块开始工作,蜂鸣器报警,LED灯闪烁,相关保护电路开始工作,人工控制模块对系统进行相应的人工控制,对整个系统起到维护的作用。

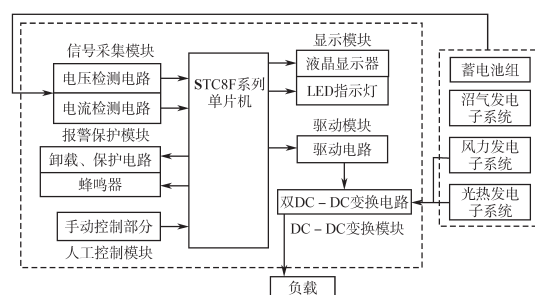


图2 控制系统结构

Fig.2 Structure of control system

2 控制系统主要硬件电路设计

2.1 主控电路设计

与传统的互补发电系统采用单个DC-DC变换器来实现功率控制相比,本次设计采用双DC-DC变换电路,将Buck电路与Buck-Boost电路相结合。Buck电路扩展为2路独立输入,可分别实现对光热和风力发电系统的最大功率(MPPT)控制,而Buck-Boost电路可对蓄电池进行合理的充放电控制,电路结构如图3所示。

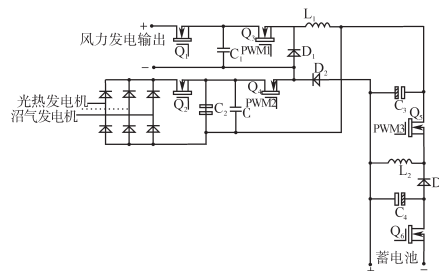


图3 协调功率控制电路原理图

Fig.3 Schematic diagram of coordinate power control circuit

$Q_3 \sim Q_5$ 为功率控制开关管,当光照强度充足(弱风)时,启动 Q_1 ,光热发电系统开始给负载提

供电能,给蓄电池充电,同时由单片机产生的占空比可调的PWM信号驱动 Q_4 ,使得光热发电系统进行最大功率点跟踪控制;当光照强度不足时,风力发电输出居多,启动 Q_1 ,由风力发电系统给负载提供电能,给蓄电池充电,同时单片机产生的占空比可调的PWM信号驱动 Q_3 ,使得风力发电系统进行最大功率点跟踪控制;当光热和风力发电系统都正常工作时,两者同时进行最大功率跟踪控制,蓄电池组进入最大功率(MPPT)充电模式,并由 Q_5 对蓄电池进行充电控制;当光热与风力发电满足不了负载要求时,蓄电池开始进行恒流放电,当蓄电池两端电压达到放电截止电压时,关断 Q_6 ,断开蓄电池与负载连接,启动沼气发电系统进行供电。

2.2 隔离驱动电路

为了驱动MOSFET开关管,同时将单片机弱电系统与强电端隔离,如图4所示,本次采用了光电耦合器进行光电隔离,经过三极管后,接入专门驱动MOSFET开关管的IR2101驱动芯片,将高边栅极驱动器输出HO端口接到MOSFET的栅极G端,该芯片是一个8管脚的芯片,是双通道、栅极驱动、高压高速功率驱动器,采用了高度集成的电平转换技术,大大简化了逻辑电路对功率器件的控制要求,同时提高了驱动电路的可靠性。

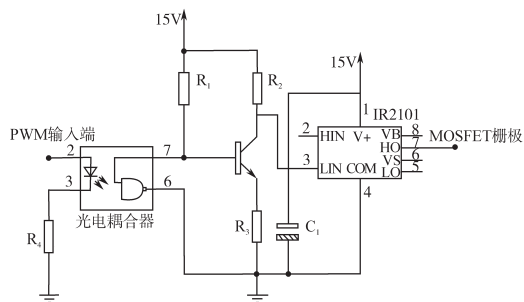


图4 驱动电路原理图

Fig. 4 Driver circuit diagram

2.3 信号采集电路

信号采集部分将对光热发电系统的整流输出电压和电流、风力发电机输出电压和电流、蓄电池电压和电流进行检测。由于霍耳系列传感器具有测量精度高、线性好、频带宽、响应快、过载能力强、不损失被测电路、工作原理类似的优点,因此信号采集模块均采用霍耳系列传感器^[12]。图5为电流采集电路原理图,选用LTS 6-NP型闭环霍耳电流传感器,测量电流范围在 $-19.2 \sim 19.2$ A之间,将被测电流转换为 $0 \sim 4$ V的电压信号输

出,直接送入单片机的A/D端口中即可实现电流采集。图6为电压采集原理图,电压信号的采集选用HV25-P型闭环霍耳电压传感器,测量电压在 $0 \sim 500$ V之间,输出电流 $0 \sim 25$ mA,经过测量电阻 R_m 可将其转换成 $0 \sim 5$ V的电压信号输出,送入单片机A/D端口。

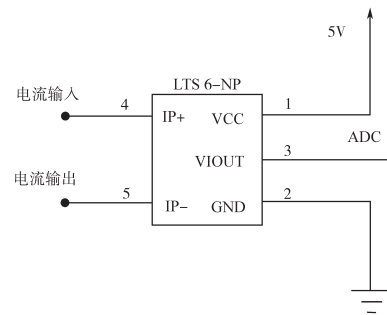


图5 电流采集电路原理图

Fig.5 Schematic of current acquisition circuit

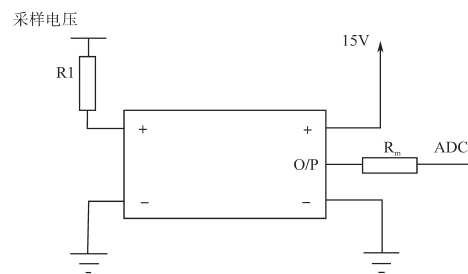


图6 电压采集电路原理图

Fig.6 Schematic of voltage acquisition circuit

3 软件设计

单片机STC8A4K64S4A12采用Keil作为开发环境,采用C语言编程,软件部分共包含主程序和4个子程序,子程序包括蓄电池充放电程序、光热发电及MPPT控制子程序、风力发电及MPPT控制子程序和沼气发电子程序。

3.1 控制系统主程序

在主程序开始之前,首先初始化系统,对蓄电池电压、电流信号进行检测,当蓄电池电压在过充电压和过放电电压之间时,执行蓄电池充放电程序,否则当蓄电池电压小于过放电电压时,蓄电池断开与负载连接;当蓄电池电压大于过充电压时,控制占空比,开启卸载电路进行卸荷,同时保护电路开始工作;然后对风力发电电压进行检测判断,若达到工作电压状态,执行风力发电及MPPT控制子程序,同时执行光热发电及MPPT控制子程序;否则当输出功率满足不了负载要求时,执行沼气发电子程序。系统主程序流程图如

图7所示。

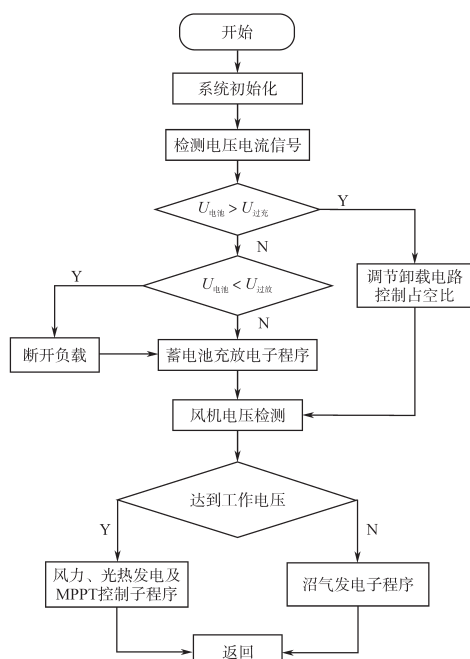


图7 主程序流程图

Fig.7 Flow chart of the main program

3.2 光热发电 MPPT 控制

为实现光热发电系统的最大功率点跟踪,本次设计改进了传统的固定步长的扰动观察法,采用变步长扰动^[13],同时加入电压检测判断环节,通过控制程序得出所需的PWM控制信号,驱动协调控制电路中的开关管,流程图如图8所示。

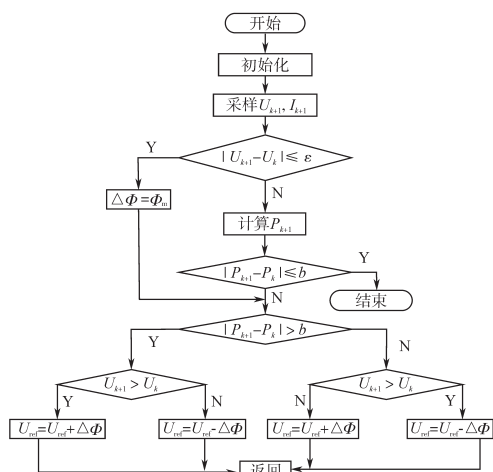


图8 光热发电 MPPT 程序流程图

Fig.8 The program flow chart of concentrating solar power generation MPPT

图8中 ε, b 分别为电压差和功率差的临界值;程序输出的参考电压 U_{ref} 是用于产生PWM的控制信号; $\Delta\Phi=f(k)M\times\Delta P/\Delta U$ 为光热MPPT控

制扰动步长, M 为变步长比例因子。 $\Delta P/\Delta U$ 在采样时间快速的情况下,可以看成是 $P-U$ 曲线的斜率,同理, $\Delta\Phi=f(k)M\times\Delta P/\Delta\omega$ 即为风力发电MPPT控制扰动步长,以此来进行最大功率跟踪,风力发电MPPT控制子程序、蓄电池充电初期的MPPT充电程序与光热的类似。

3.3 蓄电池充放电子程序

蓄电池充放电子程序是将最大功率(MPPT)充电与阶段式充电控制策略相结合,首先设置充放电标志位,当充放电标志位为1时,进入放电控制程序,当充放电标志位为0时,进入充电控制程序,根据蓄电池不同电压和电流的标准来执行相关的充放电控制程序,蓄电池充放电程序流程图如图9所示。

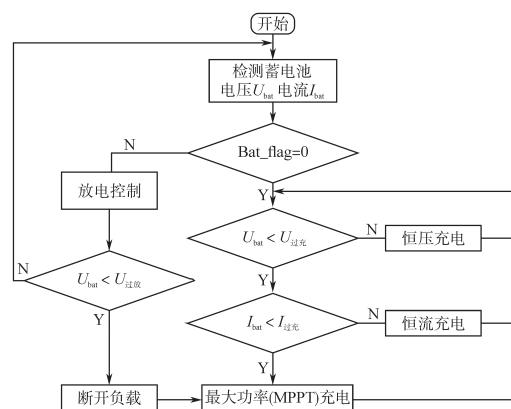


图9 蓄电池充放电程序流程图

Fig.9 The program flow chart of battery charge and discharge

4 系统仿真与分析

在Matlab/Simulink中建立风—光—沼互补发电系统的整体模型,其中光热发电系统的额定功率为250 W,输出电压在25~30 V之间,风力发电系统的额定功率为300 W,输出电压在30~40 V之间,沼气发电机的额定功率为500 W,整流输出电压在24~30 V之间,蓄电池电压为24 V,由2个12 V/100 Ah铅酸蓄电池串联而成,变步长控制采用obe45解算器,仿真时间为0.6 s。在标准条件下设置室温为25℃,初始光照强度为1 000 W/m²,风速为10 m/s。

仿真过程中,通过模拟改变光照强度,环境温度以及风速等外界环境的动态变化得到仿真波形如图10~图13所示。在0~0.2 s之间,光照强度为1 000 W/m²,风速10 m/s,光热系统输出功率在0.05 s左右达到平稳后,可以跟踪在220 W附近,光热发电系统输出电压为27.6 V,风力发电

系统输出电压为36.5 V,由此可见,该光照强度和风速满足发电条件,光热发电系统和风力发电系统同时进行发电;当在0.2 s时,设置脉冲函数使得光照强度由1000 W/m²降为800 W/m²,风速由10 m/s增至12 m/s,因此在0.2~0.4 s之间时,由于光照强度减弱,风速增强,光热发电系统的输出功率降至205 W附近,输出电压为26.4 V,风力发电系统正常工作;当在0.4 s时,光照强度由800 W/m²降为500 W/m²,风速由12 m/s降至3 m/s,因此在0.4~0.6 s之间,光热系统由储热系统开始供热发电,输出电压为23.7 V,低于正常值,输出功率满足不了负载需求,风速下降,风力发电系统达不到工作状态,此时接入蓄电池和沼气发电系统开始发电,由此可以看出,在外界环境变化的同时,可以启动相应的发电模式,来进行相应的发电模式的自动切换,保证系统的正常运行。

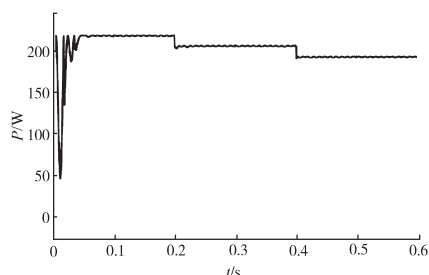


图10 光热发电系统仿真输出功率变化图

Fig. 10 Simulation of concentrating solar power generation system output power

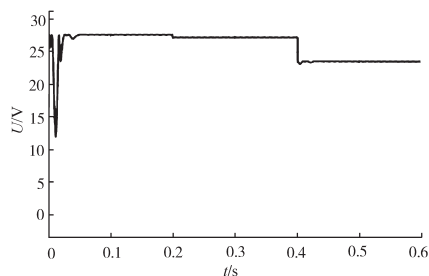


图11 光热发电系统仿真整流输出电压变化图

Fig. 11 Simulation of concentrating solar power generation system rectifier output voltage

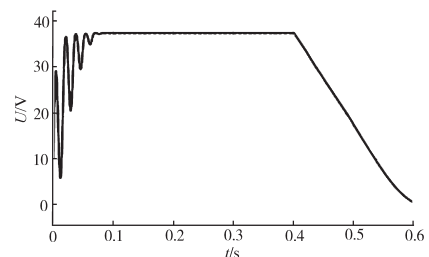


图12 风力发电系统仿真输出电压变化图

Fig. 12 Simulation of wind power generation system output voltage

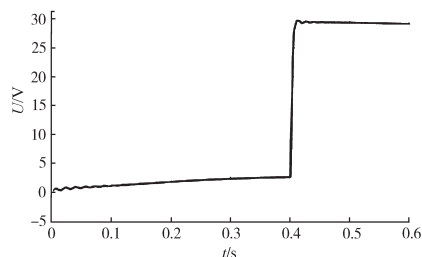


图13 沼气发电系统仿真输出电压变化图

Fig. 13 Simulation of biogas power generation system output voltage

由图10、图11可以看出,采用了变步长的扰动控制后,光热发电系统的输出波形在经过较短时间的波动调整后运行在相对稳定的位置,即为系统最大功率点,该调整过程就是光热发电系统自动寻找最大功率点的过程。

图14为MPPT脉宽调制仿真波形图。由图14可以看出,PWM信号的占空比先逐渐增大,达到最大功率点后逐渐减小,当占空比为0.65左右时,系统达到最大功率点。

表1为多种MPPT算法比较,和文献[13-14]常用的扰动观察法相比,在外界环境变化过程中,改进变步长扰动观察法不仅输出功率有所提高,而且响应速度和跟踪精度都有所提升,达到预期的研究效果。

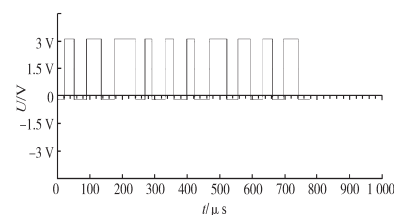


图14 MPPT脉宽调制仿真波形图

Fig. 14 Simulation of MPPT pulse width modulation waveform

表1 多种MPPT算法比较表

Tab.1 A variety of MPPT algorithm comparison table

算法	MPPT输出功率	响应速度	跟踪精度
改进变步长扰动观察法	最大228.3 W 最小193.5 W	0.04 s内	摆动较小
常用扰动观察法	最大200 W 最小130 W	0.05~0.06 s	摆动较大

5 结论

本文设计了风—光—沼互补发电控制系统,介绍了系统的主要硬件电路部分和软件设计,建立了整个系统的仿真模型,对外界环境变化时的情况进行仿真分析,分析结论如下:

1) 采用新型STC8A4K64S4A12单片机为控制芯片,当外界环境发生突变时,控制系统通过

采集到的各个系统的电压、电流等参数,来实现不同发电模式快速的自动切换。

2) 结合变步长扰动控制的MPPT算法,通过单片机内部产生的PWM信号来控制DC-DC变换器中的开关管占空比,实现系统的最大功率跟踪控制,提高了系统的输出功率和运行可靠性。

仿真实验表明,该控制系统结构简单,成本低,抗干扰能力强,有助于提高发电可靠性和智能化控制,可广泛应用于电力贫乏的偏远地区的生产生活用电,提高供电保障能力和用电质量,具有实际推广应用价值。

参考文献

- [1] 陈亚爱,金雍奥. 风光互补发电系统控制技术综述[J]. 电气传动,2012,42(1):3-9
- [2] García Javier Ordóñez, Gago Bayo Eulalia Jadraque, Javier Alegre, *et al.* The Use of Solar Energy in the Buildings Construction Sector in Spain[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2006, 11(9):2166-2178.
- [3] Budzianowski Wojciech M. Sustainable Biogas Energy in Poland: Prospects and challenges[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16(1):342-349.
- [4] 王群京,王涛,李国丽. 小型风光互补MPPT控制的研究[J]. 电气传动,2009,39(5):40-42,58.
- [5] Bond Tom, Templeton Michael R. History and Future of Domestic Biogas Plants in the Developing World[J]. Energy for Sustainable Development, 2011, 15(4):347-354.
- [6] Meral Mehmet Emin, Dincer Furkan. A Review of the Factors Affecting Operation and Efficiency of Photovoltaic Based Electricity Generation Systems[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(5):2176-2184.
- [7] 袁伟东. 国内外太阳能光热发电发展现状及前景[J]. 电力与能源, 2015, 36(4):487-490.
- [8] 冉国伟,张汝坤,冯爱国. 沼气发电技术现状分析及发展方向探讨[J]. 农机化研究, 2006(3):189-191, 194.
- [9] 寇巍,郑磊,曲静霞,等. 太阳能与发电余热复合沼气增温系统设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24):211-217.
- [10] Haque. Maximum Power Point Tracking (MPPT) Scheme for Solar Photovoltaic System[J]. Energy Technology & Policy, 2014, 1(1):115-122.
- [11] 邱关源,罗先觉. 电路[M]. 第五版. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [12] 白韶红. 集成霍尔传感器的发展[J]. 自动化仪表, 2003, 2(3):1-9.
- [13] 卢琳,段国华,张仕文. 基于MPPT的智能太阳能充电系统研究[J]. 电力电子技术, 2007, 41(2):96-98.
- [14] 谢玲玲,时斌,马在涛,等. 基于改进扰动观察法的光伏电池最大功率跟踪[J]. 水电能源科学, 2012, 30(10):204-207, 171.

收稿日期:2018-06-20

修改稿日期:2018-09-13