

独立式 LED 太阳能光伏照明系统的设计

艾 叶, 刘廷章, 王世松

(1.上海大学, 上海 200072; 2.上海市电站自动化技术重点实验室, 上海 200072)

摘要:设计了一种独立式 LED 太阳能光伏照明系统。利用改进的增量电导法对太阳能电池输出进行最大功率点跟踪 (Maximum Power Point Tracking, 简称 MPPT) 控制, 根据独立式太阳能 LED 照明系统的工作特性, 采用一种新型的 MPPT 充电控制策略。设计了大功率白光 LED 灯具恒流驱动电路及自动调光功能, 用于维持室内照度的稳定。

关键词:太阳能电池; 最大功率点跟踪; 充放电控制

中图分类号: TM615

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2010)02-0018-02

Design of a Stand-alone LED Photovoltaic Illuminatce System

AI Ye, LIU Ting-zhang, WANG Shi-song

(1.Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2.Shanghai Key Laboratory of Power Station Automation Technology, Shanghai 200072, China)

Abstract:This paper presents a stand-alone solar LED photovoltaic illuminance system.The output power of the solar array is controlled by an improved incremental conductance maximum power point tracking(MPPT) method.Based on the characteristics of stand-alone solar LED illuminance system,a novel charging strategy based on MPPT is employed.A driving circuit of large power LED and the automatic dimming control are designed for maintaining a stable indoor illuminance.

Keywords:photovoltaic cell; maximum power point tracking; charge and discharge control

Foundation Project:Supported by Innovation Program of Shanghai Municipal Education Commission (No.09YZ32);Sub-project of Special Subject of "Photoelectron and LED"of Shanghai Municipal Education Commission(No.09DZ1141502); Science Education Program of Delta Power Electronic(No.DREG2008004)

1 引言

随着经济的发展, 各国对能源的需求越来越大。太阳能光伏发电是世界公认的技术含量最高、最有发展前景新能源。太阳能电池板和 LED 均由半导体材料构成, 半导体材料技术的日益完善必将推动太阳能和 LED 的进一步发展^[1-2]。文中将太阳能和 LED 相结合, 提出了一种独立式太阳能照明系统的解决方案, 设计了高效率的大功率白光 LED 驱动模块。

2 系统框架

系统在白天通过太阳能电池板将太阳能转换成电能存储起来, 然后在晚上供给照明设备。该系统采用了阀控密封铅酸蓄电池(VRLA)作为电能存储设备, 同时将大功率白光 LED 作为照明设备。图 1 示出系统框架结构图。

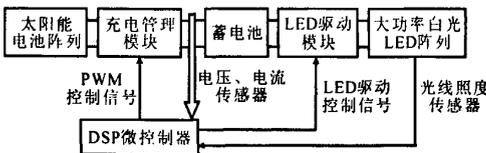


图 1 系统框图

充电管理模块对太阳能电池板阵列进行最大功率点跟踪 (MPPT), 并对蓄电池进行充电, LED 驱动模块采用蓄电池中的电能对大功率白光 LED 阵列进行驱动; 系统采用 DSP 微控制器进行 MPPT 控制、蓄电池充电管理和 LED 驱动控制。

3 充电控制和能量管理策略

3.1 充电管理模块

图 2 示出充电管理模块的框图。Flyback 变换器将太阳能电池板阵列与蓄电池相连接, 同时对太阳能电池板阵列进行 MPPT。

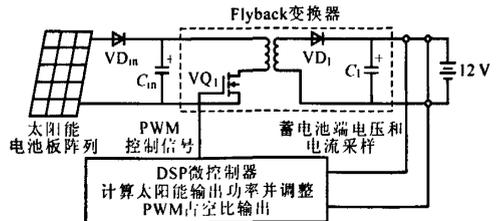


图 2 充电管理模块框图

3.2 太阳能电池的 MPPT 算法

在不同的温度和辐射强度下, 太阳能电池的最大功率点 (MPP) 的位置不同; 而在一定的温度和辐射强度下, 太阳能电池具有唯一的 MPP, 输出 P-V 曲线呈单峰特性^[3]。根据线性电源原理, 当负载等效电阻与电源的等效内阻相等时, 电源输出功率达到最大值。由太阳能电池和控制器中的 DC/DC 变换电路组成的电源具有强非线性, 但在极短的时间内

基金项目:上海市科委科研创新项目(09YZ32);上海市科委“光电子与 LED”专项课题子课题(09DZ1141502);台达电力电子科教发展计划项目(DREG2008004)

定稿日期:2009-11-16

作者简介:艾 叶(1986-),男,江西抚州人,硕士研究生,研究方向为电力电子技术及绿色照明。

可以认为是线性的^[4]。因此在该时间内,通过调节 DC/DC 变换电路的 PWM 控制信号的占空比,使负载的等效电阻与太阳能电池的等效内阻相等,即太阳能电池的输出功率达到最大,进而提高太阳能电池的利用率。

MPPT 算法的实现实际就是系统根据太阳能电池本身的输出电压、电流来确定其 MPP^[5]。文中采用一种改进型增量电导法来实现 MPPT 控制。太阳能电池的输出功率 P_{PV} 是太阳辐射强度、电池温度以及负载等效电阻的函数,可以表示为:

$$P_{PV} = U_{PV} I_{PV} \quad (1)$$

式中: U_{PV} 、 I_{PV} 分别为太阳能电池的输出电压和电流。

将式(1)两边分别对 U_{PV} 求导得:

$$\frac{1}{U_{PV}} \cdot \frac{dP_{PV}}{dU_{PV}} = \frac{I_{PV}}{U_{PV}} + \frac{dI_{PV}}{dU_{PV}} \quad (2)$$

定义 G 、 ΔG 分别为太阳能电池的瞬时电导和增量电导, $G = I_{PV}/U_{PV}$, $\Delta G = -dI_{PV}/dU_{PV}$ 。易知当 $G > \Delta G$ 时, $dP_{PV}/dU_{PV} > 0$; 当 $G = \Delta G$ 时, $dP_{PV}/dU_{PV} = 0$; 当 $G < \Delta G$ 时, $dP_{PV}/dU_{PV} < 0$ 。当 $G > \Delta G$ 时, $U_{PV} < U_{MPP}$, (U_{MPP} 为 MPP 处电压), 反之亦然。增量电导 MPPT 算法通过周期性地检测太阳能电池的工作电压和电流来进行差分运算, 以寻找 $G = \Delta G$ 的电压工作点。若工作点在 MPP 左侧, 则增加 U_{PV} ; 反之, 则减小 U_{PV} ; 若工作点在 MPP 处, 保持 U_{PV} 不变, 从而使 P_{PV} 最大。

由太阳能电池的输出特性可知, MPP 左侧区域的范围约为右侧区域的 3~5 倍(近似取 4 倍), 左侧电流变化速度慢, 右侧电流变化速度快, 因此对增量电导法作如下改进: 在 MPP 的左侧, 当电流变化速度小于 7% 时, 采用 $4\Delta D$ (ΔD 为占空比 D 的增量) 的变化步长; 而当电流的变化速度大于 7% 或工作点在 MPP 右侧时, 采用 ΔD 的变化步长, 以保证算法在 MPP 左、右侧的跟踪速度, 同时减小了在 MPP 附近的振荡。图 3 示出改进后增量电导法的流程。

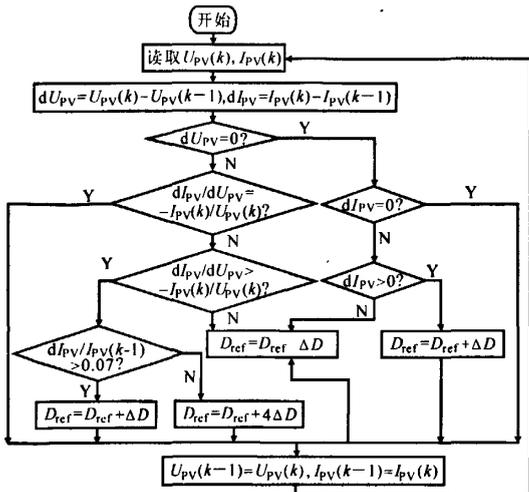


图 3 改进后的增量电导法算法流程图

3.3 蓄电池充电策略

文中采用一种新的充电控制策略, 在开始充电时先设定一个最大允许充电电流, 例如 $C/10$ (C 为蓄电池的容量), 然后不断地检测蓄电池电流, 只要充电电流不大于最大允许充电电流即可。与此同时, 不断检测蓄电池电压, 当该电压达到 2.4 V/单体电池, 说明蓄电池已进入过充状态, 此时应减小设定的最大充电电流, 例如改为 $C/20$, 并重复上述过程。一直到充电电流达到 $C/100$ 时, 表明蓄电池已达到 100% 充满状态。

该充电控制方法采用电流控制, 在任何充电阶段只要充电电流在最大允许值范围内, 均可以采用 MPPT 充电控制方法。该方法在不超过最大允许充电电流的前提下, 使光伏阵列向蓄电池充电输出最大功率, 提高了光伏阵列的利用率。

4 LED 驱动控制和自动调光控制

由 LED 特性可知, LED 端电压的微小变化会引起较大的电流变化和亮度变化, 故 LED 的驱动应尽可能地保持电流恒定。文中采用 Cuk 电压变换驱动串联 LED 的方案来设计半导体照明灯具的驱动电路, 其电路框图如图 4 所示。

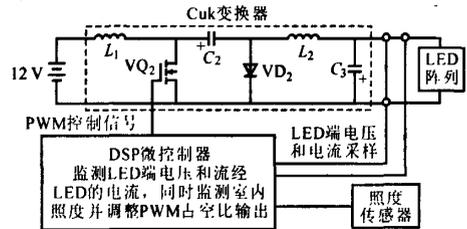


图 4 LED 驱动及自动调光控制电路框图

系统利用 Cuk 变换电路提高输入电源的电压, 以驱动大功率白光 LED 阵列来实现照明。由于 LED 的工作电源由蓄电池提供, 因此它在工作时输出的电压并非恒定, 而是在一定范围内变化, 所以要求驱动电路能够在较宽的输入电压范围内均能正常工作。Cuk 变换电路在满足较宽的输入电压的同时, 使经过变换后的输入电压得到了提升, 从而满足了串联 LED 工作电压较高的要求。

同时系统通过照度传感器实时地自动采集当前环境光照度并反馈至控制器中, 控制器根据检测到的当前环境光照度进行判断, 然后调整输出占空比和 LED 亮度, 从而维持室内照度的稳定。

5 实验分析

实验系统使用两块太阳能电池板串联, 标称功率为 15 W, 开路电压为 17.5 V; 蓄电池额定电压为 12 V, 额定容量为 24 Ah; 控制器采用 TMS320LF2407A; LED 照明负载采用 20 只 1 W 大功率白光 LED 串联。图 5 示出蓄电池充电实验波形。在 Flyback 充电阶段, 系统对太阳能电池进行 MPPT, (下转第 69 页)

交流 50 Hz/130 V, $L_D=0.9$ mH; 现场负载为电磁铁, 电感值 0.116 H, 电阻值 0.053 4 Ω , 电压设定为 1 V, 对应 200 A 电流。HCCS 稳流电源系统实验波形如图 5 所示。可见, DAF 输出电流 i_{DAF} 补偿了谐波电流, 使得负载上只有很小的电流纹波。稳态精度 4.6×10^{-5} , 考虑到这是 200 A, 对应 1 V 电压给定情况。当电流为 1 250 A, 对应 6.25 V 额定电压给定, 则稳态纹波要远小于要求的纹波指标, 稳态精度可达 1×10^{-5} 。实验结果表明, 变滞环宽度电流滞环有源滤波方案可以满足系统要求, 并使系统结构更为简单。

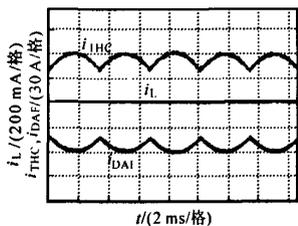


图 5 实验波形

6 结论

基于补偿谐波电流的电流滞环有源滤波输出控

制可以快速补偿相控整流输出, 同时开关频率近似不变, 简化了滤波环节参数设计, 提高了有源滤波环节的响应速度, 有效克服了系统参数变化的影响。采用反馈控制与前馈控制相结合的复合控制方式, 使系统性能满足同步加速器磁铁电源系统的极高要求。实验结果表明, 系统方案合理可行、不失为一种较好的高精度电源实现方案。

参考文献

- [1] Sangsun kim, Prased N Enjeti. A New Hybrid Power Filter (APF) Topology[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 2002, 17(1): 48-54.
- [2] 马小亮, 王丙元. 并联型有源滤波器在稳流电源中的应用研究[J]. 电工技术学报, 2002, 17(3): 4-58.
- [3] Ma Xiaoliang, Wang Bingyuan, Zhao Futian. A High Power Low Ripple High Dynamic Performance DC Power Supply Based on Thyristor Converter and Active Filter[A]. IECON, 02[C]. 2002, (2): 1238-1242.
- [4] 洪峰, 单任仲, 王慧贞, 等. 一种变环宽准恒频电流滞环控制方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(1): 115-118.

(上接第 19 页) 并给蓄电池充电; 当 $U=14.9$ V 后, 系统开始不断调节充电电流, 此时蓄电池处于过充状态, 直到电流减小到 0.1 A, 表明蓄电池已充满。在充电调节末期, 蓄电池处于开路状态, 经过 10 h 后测量蓄电池的开路电压, 发现蓄电池端电压仍维持在 12.9 V 左右。根据厂家提供的技术参数, 只要蓄电池端电压在 12.7 V 以上就表明其容量为 100%, 说明充电控制方法的有效性。图 6 示出自动调光实验曲线图。

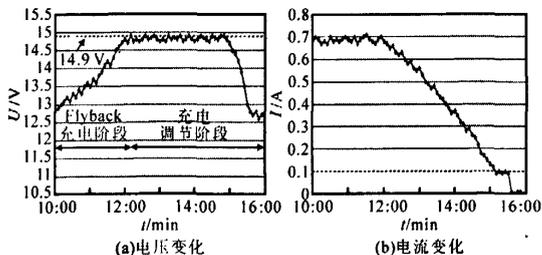


图 5 蓄电池充电实验波形

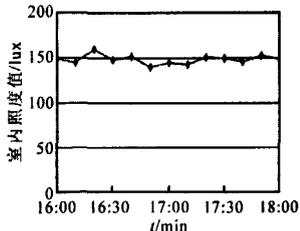


图 6 自动调光实验曲线

系统通过不断地检测室内照度值, 与系统设定的需要稳定的照度值 (150 lux) 进行比较, 通过调整输出占空比来调节 LED 的亮度, 进而调节室内照度值。由图可知, 室内照度值在 150 lux 上下浮动, 误

差在 10 lux 以内, 基本维持了室内照度的稳定。

6 结论

文中设计了一种独立式太阳能 LED 照明系统, 采用了改进的增量电导法对太阳能电池输出进行最大功率点跟踪控制, 并用优化的充电控制策略对蓄电池进行充电控制。实验结果表明该系统充分利用了光伏阵列的输出功率, 提高了充电效率。采用了 Cuk 电压变换驱动串联 LED 的方案来设计照明灯具的驱动电路, 同时设计了自动调光功能, 实验表明该系统基本实现了维持室内照度稳定的要求。

参考文献

- [1] S Rahman. Green Power: What Is It and Where Can We Find It[J]. IEEE Power Energy Mag, 2003, 1(1): 30-37.
- [2] J D Garrison. A Program for Calculation of Solar Energy Collection by Fixed and Tracking Collectors[J]. Sol. Energy, 2002, 72(4): 241-255.
- [3] M A S Masoum, H Dehbonei, E F Fuchs. Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems with Voltage and Current-based Maximum Power Point Tracking[J]. IEEE Trans. Energy Conversion, 2002, (17): 514-522.
- [4] Jancarle LSantos, Fernando L M Antunes. Maximum Power Point Tracker for PV Systems[A]. World Climate & Energy Event[C]. Rio de Janeiro, 2003: 75-80.
- [5] Zhenhua Jiang, Dougal R A. Multiobjective MPPT/Charging Controller for Stand-alone PV Power Systems under Different Insolation and Load Conditions[A]. Industry Applications Conference[C]. Seattle, 2004: 1154-1160.

独立式LED太阳能光伏照明系统的设计

作者: [艾叶](#), [刘廷章](#), [王世松](#)
作者单位:
刊名: [电力电子技术](#) **ISTIC** **PKU**
英文刊名: [POWER ELECTRONICS](#)
年, 卷(期): 2010, 44(2)
引用次数: 0次

参考文献(5条)

1. S Rahman. Green Power: What Is It and Where Can We Find It[J]. IEEE Power Energy Mag, 2003, 1(1):30-37.
2. J D Garrison. A Program for Calculation of Solar Energy Collection by Fixed and Tracking Collectors[J]. Sol. Energy, 2002, 72(4):241-255.
3. M A S Masoum, H Dehbonei, E F Fuchs. Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems with Voltage and Current-based Maximum Power Point Tracking[J]. IEEE Trans. Energy Conversion, 2002, (17):514-522.
4. Jancarle L. Santes, Fernando L M Antunes. Maximum Power Point Tracker for PV Systems[A]. World Climate & Energy Event[C]. Rio de Janeiro, 2003:75-80.
5. Zhenhua Jiang, Dougal R A. Multiobjective MPPT/Charging Controller for Stand-alone PV Power Systems under Different Insolation and Load Conditions[A]. Industry Applications Conference[C]. Seattle, 2004:1154-1160.

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [张财志](#), [刘永浩](#), [贾俊波](#), [韩明](#), [ZHANG Cai-zhi](#), [LIU Yong-hao](#), [JIA Jun-bo](#), [HAN Ming](#) [基于LabVIEW太阳能电池最大功率点跟踪研究 - 电力电子技术2009, 43\(12\)](#)

为了获得太阳能电池最大功率点时的电压、电流、功率数据,根据太阳能电池模型及其输出功率曲线的单峰性,提出了利用LabVIEW和电子负载实现太阳能电池最大功率点跟踪(Maximum Power Point Tracking,简称MPPT)方法.该方法以LabVIEW和电子负载为核心,实现采集并记录电子负载的电压、电流、功率数据的功能,并根据这些数据实时对电子负载进行控制,完成太阳能电池的MPPT.该方案稳定可靠、开发周期短.

2. 期刊论文 [杨帆](#), [彭宏伟](#), [胡为兵](#), [李国平](#), [姜燕](#), [YANG Fan](#), [PENG Hong-wei](#), [HU Wei-bing](#), [LI Guo-ping](#), [JIANG Yan](#) [太阳能电池最大功率点跟踪技术探讨 - 电子器件2008, 31\(4\)](#)

介绍了光伏发电系统太阳能电池的输出特性及最大功率点跟踪技术的基本原理.分析了多种常用的跟踪方法的优缺点.重点研究了二次插值法的最大功率点跟踪技术,并设计了一个系统,应用常规实验方法及二次插值法寻找太阳能电池的最大输出功率,试验结果表明二次插值法能快速寻找太阳能电池的最大输出功率.

3. 学位论文 [葛丽芳](#) [基于固定电压法的太阳能电池MPPT控制芯片](#) 2008

作为一种无污染的可再生能源,太阳能的应用前景广阔,因此,能直接将太阳能转换为电能的光伏发电技术受到了高度重视.但由于太阳能电池的转换效率较低,光伏发电系统的成本成为其推广应用的瓶颈.最大功率点跟踪技术(Maximum Power Point Trating, MPPT)用以在变化的外界环境条件下保证太阳能电池实现最大功率输出,提高光伏发电系统的效率.论文在深入研究太阳能电池特性和光伏发电系统构成基础上,基于MPPT算法中的固定电压法,提出一种太阳能电池最大功率点跟踪控制芯片的设计.控制芯片的输入为太阳能电池组件,输出为蓄电池,采用模拟电路集成实现,其优势在于简单的电路实现MPPT功能,从而降低芯片的功耗与面积,提高了芯片的通用性.

论文内容主要分为三大部分:第一部分为理论研究,在此通过对太阳能电池特性研究,确定了固定电压法作为本论文的最大功率点跟踪的研究对象;还通过固定电压法的效率分析,证实了固定电压法的可行性.第二部分为电路设计部分,包括系统级与电路级设计.系统级设计中给出了论文所采用的特殊的系统结构稳定性分析方法,成功设计出系统的补偿电路,通过仿真证明了系统的稳定性;电路级设计中则以典型的电路结构实现了芯片的各个功能模块.第三部分为芯片的仿真与测试验证,芯片仿真中构建了太阳能电池的电路模型,为光伏发电系统的仿真奠定了基础.芯片测试结果证明了预期的芯片性能已基本实现. 本论文中的控制芯片在1.5 μm BCD(Bipolar-CMOS-DMOS)工艺下设计实现.仿真验证和芯片测试结果表明,在该芯片控制下,太阳能电池供电系统能实时跟踪电池的最大功率点,具有低功耗、低成本、高稳定性的特点,可实际应用于小功率发电系统.

4. 期刊论文 [张春龙](#), [廖志凌](#), [刘国海](#), [ZHANG Chun-long](#), [LIAO Zhi-ling](#), [LIU Guo-hai](#) [一种基于ON/OFF控制的太阳能电池MPPT控制器 - 电测与仪表2009, 46\(5\)](#)

在太阳能光伏发电系统中,为了降低系统造价并提高对太阳能的利用率,一般需要实现最大功率点跟踪.本文通过分析太阳能电池的功率-电流(P-I)特性曲线,提出了一种新的利用硬件电路来实现最大功率点跟踪的方法.与以往跟踪方法不同,该方法简单实用,仅需采样太阳能电池的输出电流和电压,通过比较其输出电流的变化率和输出功率的变化率,基于ON/OFF控制太阳能电池输出端电容的充放电,使其输出电流(或电压)达到最大功率点电流(或电压),实现了真正意义上的MPPT.以Buck DC/DC变换器为例,通过仿真和实验验证了理论分析的正确性.

5. 学位论文 [王强](#) [太阳能电池最大功率点跟踪技术研究](#) 2005

目前卫星电源系统广泛采用的是直接能量转换模式,该种模式是一种消耗型的系统,成本比较低;而最大功率点跟踪模式是一种非消耗型系统,它是与电源母线串联的功率转换器,特别是在卫星寿命末期需要最大功率的情况下,最大功率点跟踪模式具有非常大的优势. 本论文基于光伏曲线

特性、直流转换器工作原理及最大功率点跟踪算法,提出了太阳能电池最大功率跟踪器方案,可以使电源系统具有较强的适应瞬时脉冲大电流的能力,并显著减轻电源系统的体积和重量。这一国内率先开展的技术研究,在国内空间电源系统工程设计上有着广阔的前景。

6. 学位论文 [安海云 光伏并网发电系统中最大功率跟踪控制方法的研究](#) 2007

随着社会经济的发展,对能源的需求越来越大,传统的化石能源面临枯竭的危机,并且在消耗过程中给环境带来了严重的污染。节约能源、保护环境已经成为人类可持续发展的必要条件,作为可再生能源之一的太阳能以其取之不尽、用之不竭,清洁无污染等优点受到各国政府的重视。目前光伏并网发电系统没有普及的主要原因是:效率低、成本高。为降低整个系统造价并提高对太阳能的利用率,对太阳能电池进行最大功率点跟踪(Maximum Power Point Tracking)是最有效途径之一。目前,国内外跟踪太阳能电池的最大功率点的方法很多主要有恒定电压法、爬山法、电导增量法、模糊控制方法等。本文结合太阳能电池输出特性的单峰性,将Buck-Boost实现的无损电阻应用于最大功率点控制系统中并提出一种新的改进控制方式,使其更适宜于太阳能电池的最大功率点跟踪。经仿真验证,应用本方法,系统在不同的光照强度及温度快速变化的条件下,均可有效地跟踪太阳能电池的最大功率点,不仅提高了效率,而且降低了传统方法中的不明干扰及错误判断。本论文的具体内容如下:第一章介绍论文的相关研究背景、选题意义以及论文的主要工作及创新点。第二章分析太阳能电池的工作机理、建立太阳能电池的模型并且详细分析并网光伏发电系统的主要组成部分中需要注意的问题。第三章结合太阳能电池的非线性特性总结现有的最大功率跟踪控制方法并找到无损电阻在MPPT应用的最佳切入点。第四章对Buck-Boost变换器建立迭代映射方程,并将其实现的无损电阻应用于最大功率跟踪控制电路中,以提高太阳能电池的转换效率为出发点将以前的控制方法加以改进,详细分析其工作原理,并通过仿真验证。第五章对本论文所做的工作进行总结,并对后续的研究工作进行展望。

7. 期刊论文 [赵剑飞,曹秉刚,康龙云,张政 太阳能电动车最大功率点跟踪器的设计](#) -系统仿真学报2003, 15(5)

在研究太阳能电池板工作原理的基础上,针对太阳能电动车对能量控制系统要求的特殊性,制定了能够进行最大功率点跟踪的实时控制策略并对其进行了改进.通过在稳定和变化环境下的仿真研究获取了适用于太阳能电动车的最佳控制策略.最后进行了太阳能电动车最大功率点跟踪器硬件电路的设计.

8. 期刊论文 [朱湘临,廖志凌,刘国海 太阳能电池MPPT方法的初值问题及其实验研究](#) -电力电子技术2010, 44(2)

阐述了采用最大功率跟踪控制(Maximum Power Point Tracking,简称MPPT)的原因,比较了几种MPPT实现方法的优缺点.基于增量电导法(Incremental Conductance,简称INC)研究了MPPT参考电压初值的设置方法,提出在MPPT参数初始化程序中,将参考电压初值设定为当前光强和温度对应的开路电压的76%,可使系统开机后能快速跟踪到太阳能电池最大功率点.最后通过原理样机验证了所提MPPT初值设置方法正确性和有效性.

9. 会议论文 [孔娟,夏东伟,李永辰 光伏发电系统中最大功率点跟踪研究综述](#)

本文讨论了太阳能电池的特性,并从电力电子和控制理论两方面综述了太阳能光伏发电系统中最大功率点跟踪(MaximumPowerPointTracking;MPPT)研究的进展;分析、比较了两种基本的最大功率点跟踪的研究方法,提出了其中各自的优点及需要改进之处.

10. 期刊论文 [王勤,阮新波,韩璐 具有最大功率点跟踪功能的双输入反激DC/DC变换器](#) -南京航空航天大学学报

2009, 41(6)

采用双输入反激DC/DC变换器实现了太阳能电池和市电两种能源对负载的稳定供电,根据各种太阳能电池的特点,提出了双输入反激DC/DC变换器的控制策略:一方面使太阳能电池工作在最优状态,实现输出最大功率点跟踪,提高太阳能的利用率;另一方面当负载变化以及太阳能电池输出能量不足时可以从市电获取足够的能量以保证输出电压的稳定.最后通过仿真与实验,验证了本方案的可行性.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dldzjs201002007.aspx

下载时间: 2010年4月28日