



基于FPGA的改进型电导增量法的MPPT控制方法

凌梦¹ 沙金¹ 秦臻²

(1. 南京大学 南京 210093; 2. 常州佳讯光电产业发展有限公司 常州 213022)

摘要: 最大功率点跟踪(MPPT)控制方法的研究成为光伏发电的一个重要方面。目前MPPT算法的控制方法多种多样,在此分析了传统电导增量法实现最大功率点跟踪的利与弊,并在此基础上提出了一种改进的电导增量法的算法,并加入了变步长的环节,最后使用FPGA实现了基于这种算法的一种纯数字化的太阳能MPPT控制的电路结构。实验结果表明,在同样的外界环境变化下,改进的方法在保证系统稳定性的前提下,使得光伏阵列能更快速、准确地跟踪最大功率点。

关键词: 最大功率点跟踪; 电导增量法; FPGA

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Improved MPPT method of conductance increment for photovoltaic power systems based on FPGA

Ling Meng¹ Sha Jin¹ Qin Zhen²

(1. Nanjing University, Nanjing, 210093, China; 2. Changzhou Giantion Photoelectricity Industry Development Co., Ltd., Changzhou 213022, China)

Abstract: Method of maximum power point tracking (MPPT) becomes an important aspect of photovoltaic power generation. Currently, there are varieties of control method of MPPT algorithm. In this paper, we analyze the pros and cons of the traditional incremental conductance method which achieves maximum power point tracking, and proposes an improved MPPT method of conductance increment and adds a factor of variable step, and uses FPGA to achieve a circuit structure based on this solar MPPT algorithm. The experiment results show that the control system realizes rapid on-line evolution, tracks the maximum power point of photovoltaic cells in a quick and accurate way.

Keywords: maximum power point tracking (MPPT); conductance increment method; FPGA

1 引言

最大功率点跟踪(MPPT)技术是光伏发电^[1]系统中的关键技术之一。太阳能光伏电池输出特性具有非线性特性,利用最大功率跟踪点(MPPT)可确保获得最大的功率。与由纯软件控制的数字系统相比,FPGA用硬件连线实现其软件算法^[2],加快了运算速度,可以实现真正意义上的并行计算,提高了系统抗干扰性能。

MPPT的常用控制方法^[3]有干扰观测法,电导增量法以及模糊逻辑控制法等。电导增量法通过比较太阳能光伏电池的电导增量和瞬间电导来改变系统的控制信号。控制精确,响应快。但是传统的电导增量算法中的控制算法比较复杂,需要反复的微分,除法运算,用

FPGA实现比较困难。从电导增量算法的原理出发,进行了改进,减少了计算量,从而使得电导增量法更容易用FPGA实现。

2 传统的电导增量法

太阳能光伏电池的输出功率和电压曲线具有非线性特性^[4]。如图1所示。电导增量法控制思想与干扰观测法类似,通过不断比较太阳能光伏电池工作时的电导增量和瞬间电导来改变控制信号。

由太阳能光伏电池阵列的输出功率特性可知,最大功率点处的太阳能光伏电池输出功率 P_{pv} 与输出电压 U_{pv} 满足条件^[5]:

$$\frac{dP_{pv}}{dU_{pv}} = \frac{d(U_{pv}I_{pv})}{dU_{pv}} = I_{pv} + U_{pv} \frac{dI_{pv}}{dU_{pv}} = 0,$$

由此可得: $\frac{I_{pv}}{U_{pv}} + \frac{dI_{pv}}{dU_{pv}} = G + dG = 0$ 。

式中: G 为输出特性曲线的电导; dG 为电导 G 的增量。

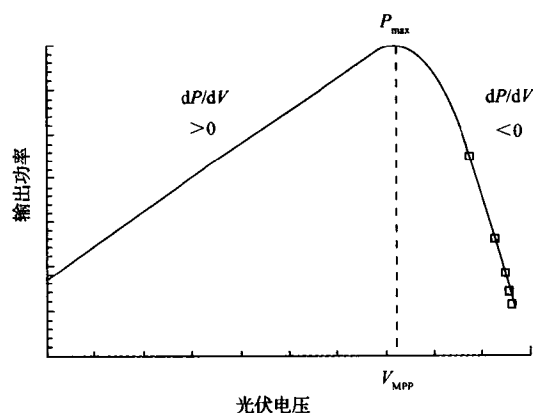


图 1 太阳能光伏电池阵列的输出功率特性

传统的电导增量法通过计算 $G + dG$ 与 0 作比较来作为重新采样的判断依据,能够快速准确地使系统工作在最大功率点,不会像干扰观测法那样在最大功率点附近反复振荡,并且能够快速进行跟踪,优势明显。但是由于其控制算法复杂,计算量较大,如果用 FPGA 来实现,较干扰观测法^[6], $G + dG$ 需要消耗大量逻辑单元,不易实现,且控制效率不高。

3 电导增量法算法的优化

3.1 全微分的引入

鉴于传统的电导增量法以上的缺点,必须找到一种易于在 FPGA 芯片中实现的方法。

由传统的电导增量法我们可以推导出:

$$G + dG = \frac{I_{pv}}{U_{pv}} + \frac{dI_{pv}}{dU_{pv}} = 0$$

$$\Rightarrow I_{pv} dU_{pv} + U_{pv} dI_{pv} = 0$$

令 $I_{pv} dU_{pv} + U_{pv} dI_{pv} = 0$, 即 ΔQ 为功率 P 的全微分形式,则可以由 $\Delta Q = I \Delta U + U \Delta I$ 的值实现最大功率点的跟踪。

1) 当 $\Delta Q(t_2) > \Delta Q(t_1)$ 时, $U_{pv} < U_{MPP}$, 则需要适当增大基准电压来达到最大功率点。

2) 当 $\Delta Q(t_2) < \Delta Q(t_1)$ 时, $U_{pv} > U_{MPP}$, 则需要适当减少基准电压来达到最大功率点,

3) 当 $\Delta Q(t_2) = \Delta Q(t_1)$ 时, $U_{pv} = U_{MPP}$, 此时系统正工作在最大功率点处。

其中 U_{MPP} 为最大功率点时刻的电压, t_2 是当前时间点的采样时刻, t_1 为上一个时间点的采样时刻。

3.2 变步长因素的引入

使用固定步长时^[7], 若选取步长较大, 则到达最大功率点附近后会有较大的振荡, 因此会有较大的功率损

失; 若选取步长较小, 则减小了在最大功率点处的振荡, 但是降低了系统的响应速度, 当外界变化较大时, 需要较长的时间达到最大功率点, 会影响光伏阵列的输出效率。

变步长的电导增量 $|\Delta Q(t_2) - \Delta Q(t_1)| < e$ 法可以在动态响应和稳态精度上实现较好的折中, 使用变步长扰动法时^[8], 需要先对系统进行分析计算, 找到变步长的规律, 这样会占用过多的逻辑单元进行步长变化量的计算, 必然使系统的跟踪速度受到影响。

考虑到 FPGA 实现的简易原则, 变步长 ΔU 的实现要计算简单易行。否则控制效率不高。采取如下方案:

1) $|\Delta Q(t_2) - \Delta Q(t_1)| > e$ 时, 系统工作在最大功率点较远, 选择较大的步长 Δu_2 ;

2) $|\Delta Q(t_2) - \Delta Q(t_1)| \leq e$ 时, 系统工作在最大功率点较近, 选择较小的步长 Δu_1 。

这里 e 、 Δu_1 、 Δu_2 代表一个常数, 是一个经验值, 不同的系统会有不同的结果。

这种方法能快速确定最大功率点所在的区域, 缩小了寻找最大功率点所需的跟踪的范围, 跟踪速度快, 却易于在 FPGA 中实现。具体流程如图 2 所示。

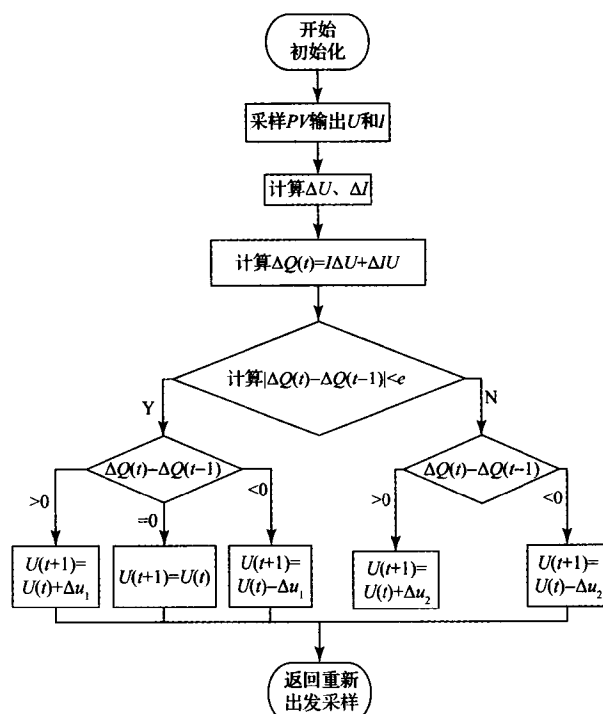


图 2 FPGA 实现流程

4 MPPT 模块 FPGA 的实现

这里我们采用 FPGA 取代 DSP^[9] 实现 MPPT 控制单元, 从图 3 可以看到该控制单元的工作过程是: 将采样到的

输出电压、电流送入 A/D 转换器中,经过处理后,将转换成数字信号的电压、电流值送入 FPGA 中,经过计算模块得到 $\Delta Q(t_2) = I\Delta U + U\Delta I$ 的数字量,将数字化的 $\Delta Q(t_2)$ 功率与上一次采样计算所得的 $\Delta Q(t_1)$ 数字量进行比较,并且将比较后较大的 ΔQ 功率存入寄存器中用于下一次比较,经过比较模块后,如果:1) $|\Delta Q(t_2) - \Delta Q(t_1)| > e$ 时,输出一个较大步长的控制信号 u_2 ;2) $|\Delta Q(t_2) - \Delta Q(t_1)| \leq e$

时,输出一个较小步长的控制信号 u_1 。步长控制信号送入电压调整产生模块后得到一个基准电压信号,同时,用 MPPT 模块产生的基准电压与三角波进行比较,三角波的频率与幅值由三角波产生模块决定,比较后得到一个输出的 PWM 信号,该 PWM 信号通过外围驱动芯片控制 DC/DC 模块中 MOSFET 管的导通时间,进而实时跟踪太阳能电池的最大功率点。

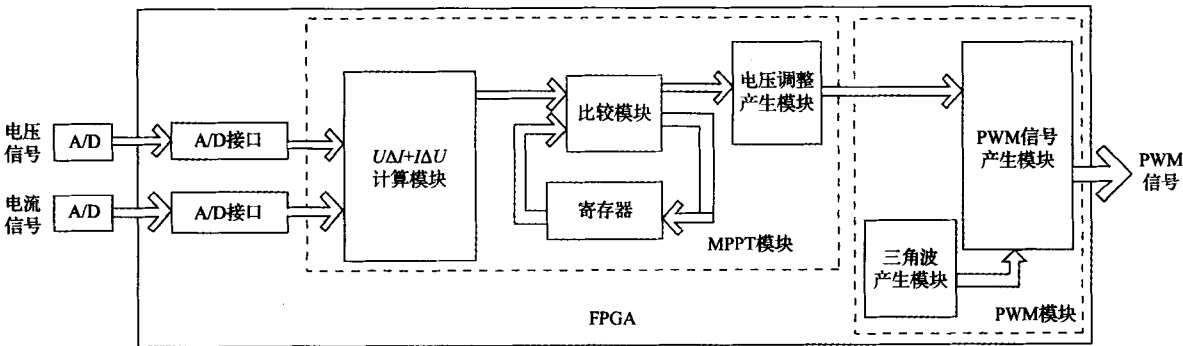


图 3 控制单元的总体设计方案

5 实验结果及分析

为了验证该设计,以 Boost 变换器作为 DC/DC 变换电路,使用 CycloneII 系列 FPGA 的 EP2C8Q208C8 芯片实现上图 4 中的模块,这些模块与 DC/DC 和 A/D 变换、太阳能电池板、负载等部件结合构成基本测试板^[9]进行最大功率点的跟踪。

实验中采用直流电源模拟太阳能电池阵列输出电压,串联电阻用来模拟其内阻。这里取直流电源 $V=15\text{ V}$,串联电阻 $R=10\text{ }\Omega$ 。经分析,该系统的最大功率为 19 W ,最大功率点处的电压应在 $13\sim 17\text{ V}$ 。通过改变系统的负载来模拟外界环境发生变化时的太阳能电池阵列的变化,分别对基于传统电导增量法的 MPPT 算法和改进后的 MPPT 算法进行测试,测试结果如表 1 所示。

表 1 传统 MPPT 算法和改进后 MPPT 算法测试

输出负载/ Ω	传统 MPPT 算法(输出)			改进后 MPPT 算法(输出)		
	功率/W	电压/V	电流/A	功率/W	电压/V	电流/A
285	16.73	0.73	12.213	16.85	0.77	12.975
276	16.53	0.75	12.398	16.50	0.81	13.365
269	15.98	0.78	12.464	16.05	0.84	13.482
263	15.63	0.80	12.504	15.58	0.89	13.866
257	15.10	0.83	12.533	15.10	0.93	14.043
250	14.70	0.84	12.348	15.05	0.96	14.448
241	14.20	0.86	12.212	14.45	0.99	14.306
232	13.60	0.87	11.832	13.60	1.02	13.872
223	12.65	0.92	11.638	12.88	1.03	13.266
215	11.80	0.95	11.210	11.95	1.03	12.309

由表中可以看出,传统 MPPT 算法的最大功率点处输出电压为 15.10 V,最大输出功率为 12.533 W,输出功率的跟踪精度为 65.9%;改进后的算法的最大功率点处输出电压为 15.05 V,最大输出功率为 14.448 W,输出功率的跟踪精度为 76.04%。改进的控制算法使系统的输出功率精度提高了 10.14%。在同样的外界环境变化下,改进的算法在保证系统稳定性的前提下,使得太阳能光伏电池阵列能更快速,更准确地跟踪最大功率点。因此,理论与实际测量相符合,系统基本达到了设计要求。

6 结 论

在传统电导增量法的基础上进行优化,极大减少了计算量,从而使得电导增量法更容易用 FPGA 实现。并加入了变步长的环节,从而提高了对太阳能光伏电池阵列进行最大功率点的跟踪(MPPT)的速度和准确性。并且成功的采用 FPGA 实现了全数字化的 MPPT 模块控制单元。该控制单元能通过信号采样,经过算法模块,实现了对电路输出的最大功率点跟踪,改进算法使系统的精度较传统方法的精度大大提高。设计出的系统易升级、易修改、动态响应快。为太阳能发电系统的 SOC 控制打下了基础。

参考文献

- [1] 刘璇. 太阳能光伏中的测试测量技术[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(4): 4-6.
- [2] 王红, 彭亮, 于宗光, 等. FPGA 现状与发展趋势[J]. 电子与封装, 2007, 7(7): 32-37.
- [3] 韦世宽, 雷加, 谈恩民, 等. 光伏系统最大功率点跟踪

技术研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(6): 490-494.

- [4] 徐从裕, 史莅全. 基于太阳能输出电压的跟踪方法研究[J]. 电子测量技术, 2012, 35(6): 73-76.
- [5] 赵争鸣, 陈剑, 孙晓瑛. 太阳能光伏发电最大功率点跟踪技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 68-70.
- [6] 刘艳莉, 闰法彬, 程泽, 等. 基于 FPGA 的太阳能 MPPT 算法实现的研究[J]. 电力电子技术, 2010, 44(8): 12-13.
- [7] LEE J H, BAE H, CHO B H. Advanced incremental conductance MPPT algorithm with a variable step size[C]. 12th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPEPMC2006), 2006: 603-607.
- [8] 梁创霖, 周华安, 文桂林, 等. 一种光伏发电变周期变步长 MPPT 优化算法[J]. 电力电子技术, 2011, 45(9): 43-45.
- [9] 汪志, 刘学锋. 光伏并网逆变器 DSP 核心控制电路设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(2): 113-116.

作者简介

凌梦, 硕士研究生, 主要研究方向为基于微型逆变器的 DSP, FPGA 实现等。

沙金, 硕士生导师, 副教授, 主要从事超大规模集成电路设计方面的研究。

秦臻, 常州佳讯光电产业发展有限公司部门负责人。
E-mail: lemontreed.nju@gmail.com

(上接第 39 页)

参考文献

- [1] 董海荣, 高冰, 宁滨, 等. 基于模糊 PID 软切换控制的列车自动驾驶系统的调速制动[J]. 控制与决策, 2010, 25(5): 794-796.
- [2] 赵朔雪, 董昱, 赵媛媛, 等. 移动闭塞条件下的 ATO 子系统运行控制算法分析[J]. 铁道通信信号, 2012, 48(2): 43-46.
- [3] 何庆. 基于遗传算法和模糊专家系统的列车优化控制[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [4] 林青. 地铁列车牵引计算的研究[J]. 铁道计算机应用, 2011, 21(2): 49-51.
- [5] 崔世文. 列车自动驾驶模式仿真研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
- [6] 陈荣武, 刘莉, 郭进, 等. 基于遗传算法的列车运行能耗优化算法[J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(1): 108-114.

- [7] 任晓莉. 城轨列车 ATO 性能指标确权算法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [8] 杨昌休, 刘莉, 王长林, 等. 基于遗传算法对高速列车速度曲线的优化[J]. 铁路计算机应用, 2012, 21(1): 9-12.
- [9] 李玉生, 侯忠生. 基于遗传算法的列车节能控制系统[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(2): 384-387.
- [10] 李波. 基于遗传算法的列车节能操纵曲线寻优[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [11] 林恺, 石江宏, 邓振森, 等. 基于遗传算法粒子滤波的多径跟踪[J]. 电子测量技术, 2012, 35(2): 50-54.

作者简介

刘亚丽, 女, 1988 年 2 月出生, 现就读上海大学自动化系硕士, 主要研究方向为轨道交通信号与通信。

E-mail: yaya05910@126.com