

一种新型光伏控制器 PWM 控制方法

柴竹新, 沈建华, 乐 群

(解放军炮兵学院 基础实验中心, 安徽 合肥 230031)

摘要: 针对现有光伏控制器控制模式的不足, 提出一种精粗调组合实现的新型 PWM 精确控制方法, 将太阳能电池分成 N 个独立的太阳能子阵, 只令一路子阵采用 PWM 控制作为精调, 其余子阵采用普通开关控制作为粗调, 具有控制电流精度高、稳压效果好、动态热损耗小、体积和重量小、成本低、易于实现等优点, 特别适合大功率应用。

关键词: 光伏子阵; 控制器; PWM; 精粗调组合

中图分类号: TK51

文献标识码: A

New way of PWM control for PV controller

CHAI Zhu Xin, SHEN Jian Hua, LE Qun

(Basic Experiment Center, the PLA Artillery Institute, Hefei 230031, China)

Abstract: To improve the defect of the existent PV controller, a new way of PWM control which is realized by combination of accurate and cursory regulation is proposed. In this way, PV cells are divided into N numbers of arrays. Only one PV array is used for accurate PWM control, others are used for cursory switch control. The way has the advantages of high accurate current control, good steady voltage effect, low cost, easy realization, low heat wastage, small volume and weight. It is especially suitable for the high power density controller.

Key words: PV arrays; controller; PWM; combination of accurate and cursory regulation

在远离电网的偏远地区, 太阳能的发电利用光伏控制器、蓄电池组、光伏电池板组成独立光伏电站, 其中光伏控制器是整个电站的核心。光伏控制器的拓扑结构通常有 DC/DC 型和直通型两大类^[1], DC/DC 型又可细分为 MPPT 型^[2]和谐振型等多种, 但 DC/DC 型控制器由于有大的感性元件的存在, 在大电流应用时, 其体积、重量和热量都会急剧增加, 限制了其在大功率领域的实际应用; 而直通型控制器在大功率领域则相对具有优势, 即使光伏电流达到几百安培, 其体积、重量和热量相对都不会太大, 因此直通型控制器在移动通信基站、边防哨卡等大功率领域得到了广泛的应用。但直通型控制器仍然存在着一些缺陷, 以下对其优缺点进行分析。

1 现有控制方式的不足

现有的直通型光伏控制器对蓄电池充放电的控制通常采用 3 类充放电控制模式。(1)逐级投入式系统^[3], 即将光伏电池分成 N 个独立的光伏子阵列, 定义 N 个蓄电池电压控制点 $V_i (i=1, 2, \dots, N; V_i < V_{i+1})$, 当蓄电池电

压大于 V_i 时, 第 i 个光伏子阵列关断, 反之则导通。这样就形成了随着蓄电池电压的增加, 充电电流阶梯式逐级减少; 反之则逐级增大。优点: 这种充电控制方式基本满足了蓄电池的充电需要, 控制逻辑简单、易于实现, 电子功率开关器件的开关能量损失很小; 缺点: 控制精度不高, 电压波动范围大, 一些先进的自动控制算法无法实现。(2)在此基础上增加了时间因素的改良型控制方式, 将蓄电池电压控制点设置为 1 个控制点 V_s 。当蓄电池电压大于 V_s 时, 第 i 个光伏子阵列关断, 延时 1 个固定时间后, 如果蓄电池电压仍然大于 V_s , 再关断第 $i+1$ 个光伏子阵列, 依次类推, 直到第 N 个光伏子阵列关断; 反之则导通, 导通过程同样有上述延时。优点: 这种充电控制方式减少了蓄电池电压的变化范围, 兼有前一种充电控制方式的优点; 缺点: 容易导致控制器的震荡, 尤其是延迟时间的选择, 要随着太阳能电池、蓄电池容量和负载的配置变化而变化, 否则会导致失控, 严重者会导致蓄电池过充或过放而报废。(3)脉宽调制式系统

技术与方法 Technique and Method

(全控型的 PWM 控制方式),即光伏电池不分子阵列,将全部光伏子阵列并联后形成 1 个总的光伏电池阵列,再以大功率电子开关做全通全断型 PWM 控制,此法可将蓄电池电压精确控制在 1 个电压点。优点:电压控制精度高,可采用各种先进的自动控制算法;缺点:功率电子开关器件的开关功率损耗较大,在相同的电压等级下,对功率电子开关器件的电流等级要求很高,对器件要求苛刻,对于大功率光伏控制器,散热片体积较大。

2 精粗调组合 PWM 新控制方法

针对上述 3 种方案的缺点,本文提出了一种精粗调组合 PWM 控制的新控制方法。仍然将光伏电池分成 N 个独立的相同配置的光伏子阵列($i=1, 2, \dots, N$),但是只有第 1 个光伏子阵列($i=1$)采用 PWM 控制,其余的光伏子阵列($i=2, 3, \dots, N$)仍然采用普通的开关控制,控制方式为:假设 N 个光伏子阵列全部导通时的总光伏电流为 I ,则每个光伏子阵列单独导通时的光伏电流为 I/N ,如果第 1 个光伏子阵列的 PWM 控制占空比变化范围为 $0 \sim K$,则第 1 个光伏子阵列的 PWM 电流可以精确控制到 $(j/K) \times (I/N)$,其中 $j=0 \sim K$ 变化;如果将第 1 个光伏子阵列的 PWM 精确控制和其余 $N-1$ 个光伏子阵列的开关粗略控制相配合,则可以得到电流变化范围在 $0 \sim I$ 之间的任意的精确电流输出,其值为: $(j/K+m) \times (I/N)$,其中 m 是其余 $N-1$ 个光伏子阵列导通的个数, $m=0 \sim N-1$ ($m=0$,表示其余 $N-1$ 个光伏子阵列全部关断);控制器只需要选择计算 $m(0 \sim N-1)$ 和 $j(0 \sim K)$ 值的大小,就可以控制精确的光伏电流输出,电流分辨精度为 $I/(KN)$,相当于前述第 3 类全控型的 PWM 控制方式中 PWM 占空比变化范围是 $0 \sim KN$ 的控制效果。

3 精粗调组合 PWM 控制实现

本控制器的微处理器采用的是 C8051F020 单片机^[4],如图 1 所示。通过外部 2 个电流传感器和电压检测电路,分别经过微处理器内部 AD 转换获取光伏电流、负载电流和蓄电池电压等参数。微处理器同时发出 N 个开关控制信号,其中第 1 个信号由微处理器内部的 PWM 控制单元产生,第 2~ N 个信号由微处理器内部的普通数字 I/O 口(非 PWM)产生。当第 i 个功率电子器件被控制导通时,第 i 个光伏子阵给蓄电池充电,并为负

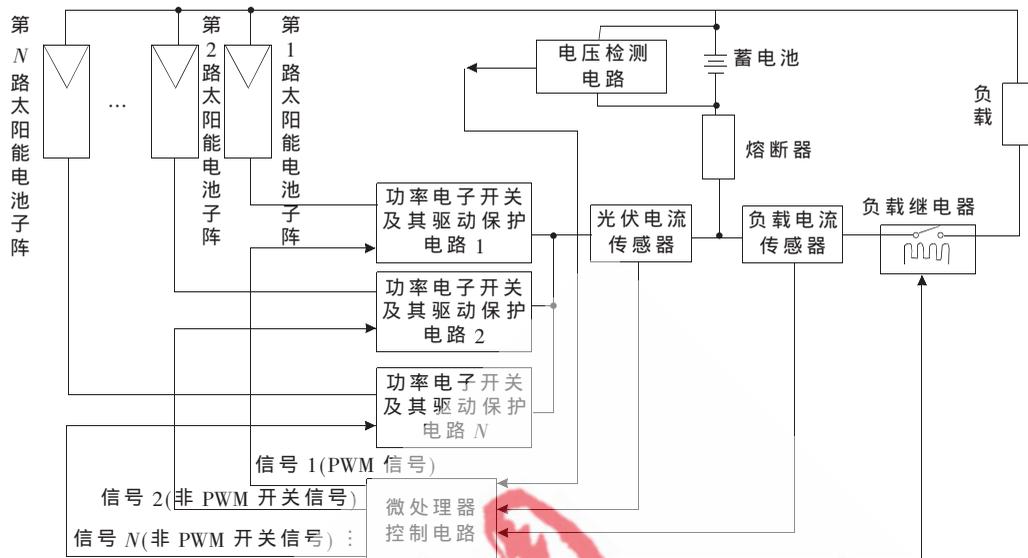


图 1 光伏控制器原理框图

载供电,对蓄电池充电控制的原则是在不同的时段进行不同的恒压充电,充电过程分为强充、均充、吸收和浮充 4 个过程,除强充外,均充、吸收和浮充 3 个阶段都是恒压控制,对蓄电池的恒压控制可以采用各种智能控制算法,本控制器具体采用的是 PI(比例积分)调节算法,再配合精粗调组合 PWM 控制方法综合实现。

控制系统传递函数结构如图 2 所示, V_s 是蓄电池电压设定值, V_0 是蓄电池电压实际输出值,二者之差 ΔV 输入 PI 调节器,得到期望输出电流 I_0 ,对 I_0 采用精粗调组合 PWM 实现,实现流程图如图 3 所示。即:将 I_0 除以 (I/N) ,取余数得到 j ,取整数得到 m 。再令第 1 路光伏子阵列的 PWM 占空比为 j ,令其余光伏子阵列中有 m 个导通,剩余的光伏子阵列断开,则得到精确的 I_0 输出: $I_0=(j/K+m) \times (I/N)$ 。该电流提供给蓄电池和负载,通过 PI 算法维持蓄电池输出电压 V_0 为恒压。在一个由 6 路光

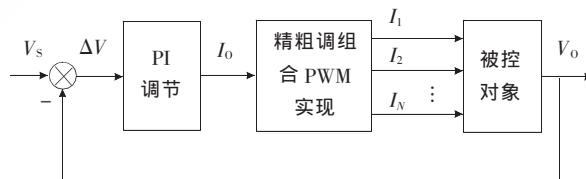


图 2 控制系统传递函数结构图

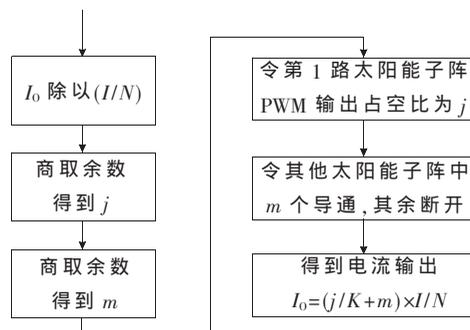


图 3 精粗调组合 PWM 实现流程图

技术与方法 Technique and Method

伏子阵组成的控制系统里,其第1路光伏子阵的PWM电压、电流和总光伏电流波形如图4所示。这里的电压是指功率电子开关两端电压,而在一个相对时间里,第2路到第6路光伏子阵电压和电流变化很少(除非粗调有动作),否则就是直线。

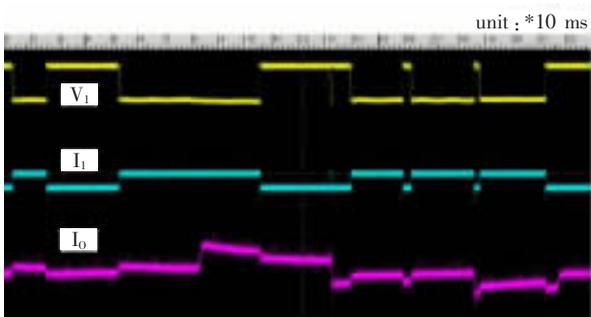


图4 第1路光伏子阵 PWM 电压电流波形和总电流波形

本方案只有1个光伏子阵列采用PWM控制,其余的光伏子阵列仍然采用普通的开关控制,与全部光伏阵列并联后进行总的PWM控制相比,这种精粗调组合实现的PWM精确控制其PWM开关能量损耗减少了 $(N-1)/N$ (N 为光伏子阵列个数),缩小了散热片体积;由于仍然采用多个独立的光伏子阵列分别控制,在相同的电压等级下,对功率开关器件的电流等级要求很低,可以采用低成本的功率开关器件并联实现1个子阵^[5],降低了成本,同时又兼有对全部光伏阵列进行PWM控制的高精度电流输出,经测试系统稳压输出符合国家标准^[9]。

由于参与PWM斩波的电流小,电磁兼容性好,已经通过了电磁兼容标准测试,并取得CE认证。已在-48V标称电压、30A~400A电流范围的系列光伏控制器上得到实际应用。运行实践表明,此方案完全达到了预期设计效果。

参考文献

- [1] SHENG Hui, ZHENG Zhu Qing. Solar photovoltaic electricity generation technology [M]. Beijing: Chemistry industry publishing company, 2004.
- [2] ZHAO Zhen Ming, LIU Jian Zhen, SEN Xia Ying. Solar photovoltaic electricity generation and application [M]. Beijing: Science publishing company, 2005.
- [3] YD/T 1669-2007, 离网型通信用风/光互补供电系统[S].2007.
- [4] PAN Zhuo Jing, SHI Guo Jun. Principle and application of C8051FXXX high speed SOC single chip microcontroller[M]. Beijing: Beijing aviation and spaceflight university publishing company, 2002.
- [5] Xu De Hong. Principle and application technology of modern power electronics element [M]. Beijing: Mechanism industry publishing company, 2008.
- [6] YD/T1073-2000.通信用太阳能供电组合电源[S].2000.

(收稿日期:2009-09-07)

作者简介:

柴竹新,男,1962年生,副教授,博士,主要研究方向:光伏电源、欠入式控制、微处理器软件算法、电力电子和自动控制。