

一种新型光伏控制器 PWM 控制方法

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(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。

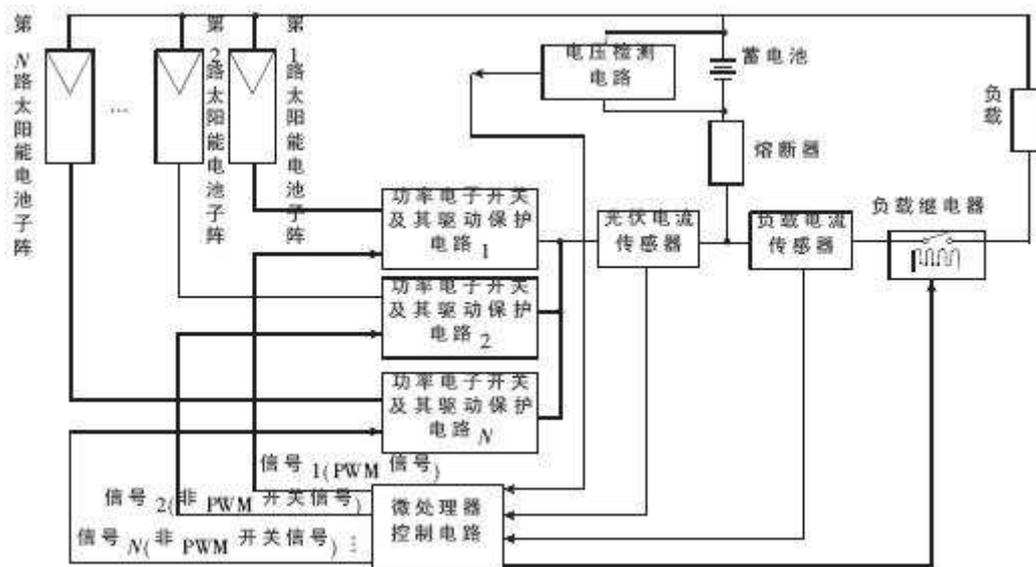
2 精粗调组合 PWM 新控制方法

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 个光伏子阵列给蓄电池充电，并为负载供电，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 路光伏子阵列组成的控制系统里，其第 1 路光伏子阵列的 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。

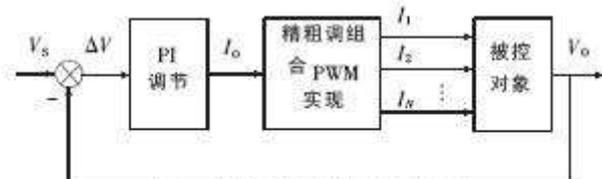


图 2 控制系统传递函数结构图

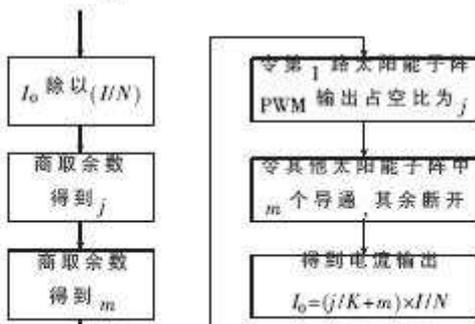


图 3 精粗调组合 PWM 实现流程图

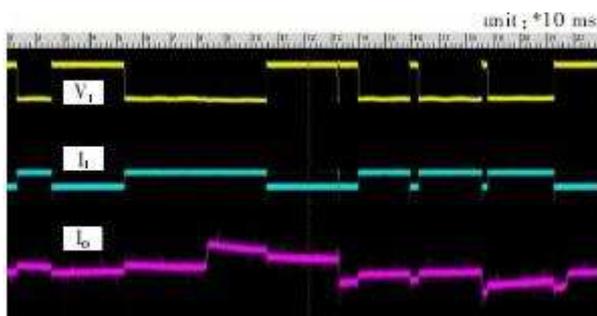


图 4 三路光伏子阵 PWM 电压电流波形和总电流波形

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[6]。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 -48 V 标称电压、30 A~400 A 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。