

分布式独立光伏发电系统设计与应用

郑永恒^[1] 孙小龙^[2] 屈鹏^[2] 朱兆元^[2]

(1. 国网陕西省电力公司, 陕西 西安 710000;
2. 中广核新能源陕西分公司, 陕西 西安 710000)

摘要 本文主要介绍了基于PIC16F877单片机设计的独立太阳能光伏控制系统, 并根据蓄电池特性在控制器设计时使用PWM控制方式, 采用了三段充电法对蓄电池进行充放电控制。本论文设计主要由光伏电池模型、DC/DC控制器、MPPT控制器、蓄电池四部分组成。结合DC/DC变换器对负载最大功率跟踪(MPPT)的进行仿真, 本系统具有快速性、稳定性和准确性等优点。

关键词 负载最大功率跟踪 DC/DC变换器 PIC16F877

中图分类号: TM61

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)11-0103-03

能源是促进人类社会进步的重要因素, 我国的能源需求随着工业产业的不断升级而提升。能源问题日益突出, 主要包括环境污染, 能源短缺以及资源分配不均造成的冲突。

我国相对世界各地都有着非常丰富的太阳能资源, 这得益于我国的幅员辽阔。同时我国也非常注重清洁能源的发展, 并给予了政策上的大力支持。在这种官方背书的背景下, 集群化和区域化成为我国光伏产业发展的现状, 在互补和合作中竞争不仅提高了产业链上中下游各企业的产品性能, 而且也为新能源平价电平添活力, 为光伏产业标准化和规模化开辟了一条具有竞争力的道路。虽然前景光明, 但挑战与机遇并存, 光伏产业高速发展存在投资规模升级的同时, 对于我们产业技术水平也同样提出了很高的要求。随着投资规模的扩大, 光伏产业链的上下游都面临着不同的竞争, 但毋庸置疑的是光伏产业已是中国清洁能源产业发展布局的重点之一。

光伏发电系统根据是否依托大型电网可以分为两类: 一种是常见的并网光伏系统, 另一种则是独立光伏系统, 独立光伏系统虽然没有与大电网进行连接, 可应用场景广泛、运用灵活, 一直是研究的热门。本文研究了分布式独立光伏系统, 在硬件部分考虑了元器件的适配性并完成了参数上的整定。设计了降压型BUCK功率变换回路、MOSFET驱动电路、PWM调制电路以及DC/DC变换器的应用, 优化了系统性能。

本课题采用PIC16F877A单片机作为主控单元, 并且对软件总体设计思路进行简述, 完成对蓄电池充电

及放电过程的保护。

1 太阳能充电控制系统硬件设计

本文的分布式独立光伏发电系统的控制部分完成了两项任务: 控制蓄电池完成充放电、对直流电进行逆变以便适应交流负载。其中控制蓄电池完成充放电是开源节流的第一步, 要将太阳能电池和蓄电池的电池特性结合起来, 完成对高效充电和放电的控制。太阳能电池中不稳定的电能依靠电力电子元器件完成了电力变换, 其各项指标均适合蓄电池完成良好充电。图1为基于DC/DC变换电路的充放电控制器。

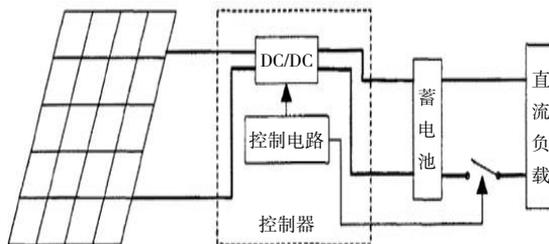


图1 充放电控制器原理图

为了提高控制器的可靠性, 采用PIC16F877单片机作为主控芯片, 它可以监测电池电压和充放电过程中的电流, 再结合环境温度进行温度补偿, 完成充放电过程的控制。同时也采用PWM脉冲调制控制保护技术根据系统现有充放电倍率确定过充、放点, 保证充电过程迅速可靠, 也保证充电时温度补偿, 充电过程完全符合I-U曲线, 使蓄电池的使用寿命得到延长。分布式独立光伏发电系统不仅要考虑充放电控制, 也要令太阳能电池尽可能维持在最大功率出力。本文采

用 BUCK 电路来实现最大功率跟踪, BUCK 电路中开关管导通的占空比的变化, 对光伏阵列而言表现为其输出阻抗发生了变化, 将影响光伏阵列的输出特性。从而一定的输出阻抗对应一个输出电压值和输出电流值。而 MPPT 技术即是通过调节 BUCK 电路的占空比而改变光伏阵列的输出阻抗, 从而寻求输出电流与输出电压的乘积即输出功率的最大值。由 BUCK 电路实现 MPPT 技术时, 光伏阵列的输出电压高于蓄电池的端电压时, 才能实现较好的调节。当光伏阵列的输出电压低于蓄电池端电压时, BUCK 电路的控制失去作用。由此, 本文采用 DC/DC 变换器来实现对系统的控制^[1]。

2 MPPT 控制算法实现

电导增量法与扰动观察法略有不同, 它虽也是根据 dP/dV 的方向完成 MPPT 控制, 避免了功率损失问题。电导增量法需采集太阳能电池阵列的输出电压和输出电流, 并结合功率对电压的变化率判断是否到达最大功率点以完成追踪。通过光伏电池阵列 P-V 曲线可知最大功率点 P 处的斜率为零, 所以在最大功率点处有:

$$dI/dV = -I/V \quad (1)$$

$$dP/dV = I + VdI/dV \quad (2)$$

1. 当 $dP/dV=0$ 时, 光伏电池工作在最大功率点处。
2. 当阵列电压增加时, $dP/dV>0$ 。
3. 当阵列电压减小时, $dP/dV<0$ 。

采用电导增量法实际上是在实时改变光伏电池的工作电压, 令其与最大功率处电压相匹配, 相对扰动观察法更能适应光照的快速变化, 但对电路硬件的要求很高, 成本相对要高。

本文中功率最大点跟踪由 DC/DC 变换器实现, 本文选择 BUCK 型结构, 具有方便成本低等优点^[2]。

BUCK 变换器输出电压在电感电流连续时为:

$$V_o = DV_{IN} = \frac{t_{ON}}{T_s} V_{IN} \quad (3)$$

式中, D 为占空比, 暨开关管导通时间 t_{on} 与开关管一个控制周期 T_s 的比值; BUCK 变换器通过 PWM 波控制占空比将太阳能电池输入电压 V_{IN} 转换为可控的输出电压 V_o 。

3 控制系统硬件电路设计

基于 PIC16F877 单片机芯片的控制系统框图如图 2 所示, 控制系统包括: 电源辅助电路部分、保护电路、总线接口部分、驱动电路、信号检测部分、PIC16F877 单片机。

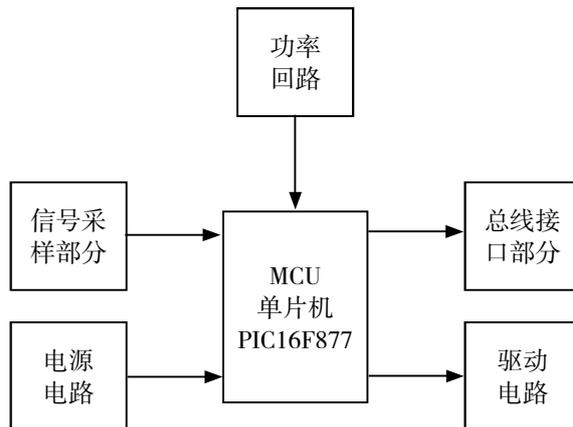


图 2 控制系统框图

在电池充放电的过程中, 主控芯片 PIC16F877 单片机会根据反馈的电压、电流信息判断蓄电池和光伏电池的状态, 并调节参考电压、调整占空比等。功率回路中 DC/DC 变换器将光伏电池输出的直流电调节成所需的电压、电流, 完成能量的变换传递。^[3]

驱动电路的设计思路如下: 所有 PWM 信号经由驱动电路隔离并放大来驱动 MOSFET 准确执行导通与截止。本文采用三角波作为 PWM 调制器载波, 振荡的峰值 $U_{pp}=3V$, 调制解调器使用 TL494 实现。采用的三角波内部阻容振荡频率可表示为:

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T C_T} = F_{sw} = 20kHz \quad (4)$$

电流采样电路思路如下: 单片机不能直接接收采样出来的电压信号, 需经过集成运放 LM358 线性放大后输入到单片机中^[4]。

回路电流在阻值低、精度高的康铜丝电阻上产生的压降作为输入连接到运放的反向输入端上^[5]。其中:

$$U_5 = U_6 = 0V \quad (5)$$

$$\frac{0 - U_1}{R_1} = \frac{U_7}{R_2} \quad (6)$$

$$\frac{U_7}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} = -10 \quad (7)$$

由于 $U_1 < 0$, 单片机采集到的是回路电流经过康铜丝电阻的压降十倍放大的数值。本电流采样电路中的康铜丝阻值为 10 毫欧, 若回路电流为 3A 时产生的压降 $U_1 = -0.03V$, 则此时单片机采集的是 $U_7 = 0.3V$ 。当回路中产生短路电流为 16A 时, $U_1 = -0.16V$, 而此时 $U_7 = 1.6V$ 。在软件程序计算中要考虑不同采样时刻的电流值, 便可以计算出采样电压值, 进而可以对功率进行计算^[6]。

单片机采集的电压信号使用简单的电阻分压电路,分配到单片机里采样电压占比为 $2.4/49.4=0.049$,当输出电压值分别为额定值 45.6V 、 2V (白天转黑夜的判断电压值)、 50.7V (开路电压)时,单片机采集的电压 U_0 分别为 1.88V 、 0.097V 、 1.97V ,其中在黑白转换时采集的电压 0.097V 经A/D转换后的值为56。以上完全满足PIC16F877的I/O端口的要求。

电源电路是分布式独立光伏发电系统中不可或缺的一部分,电源电路设计得是否合理对产品性能有着很大的制约。本系统直接采用太阳能电池板中所传输的电能,无需单独对外接电源进行设计^[7],只需要为三极管等原件设计辅助电源,本系统中辅助电源设计为 15V 和 3.3V 两种,因分布式独立光伏发电系统未与电网连接,故所有电能的来源都来自太阳能电池板,同时为了做好电源系统的可靠性,所有系统供电都需依赖蓄电池。本系统中的蓄电池正常工作范围在 $42\text{V}\sim 48.5\text{V}$ 之间。蓄电池 45V 的额定电压经过冠限流后,先通过三端稳压器7812得到辅助电源所需的 15V 电压。然后稳压二极管IN4733得到 5.1V 的电压,进行分压后,再经稳压器AS117,得到 3.3V 的稳定电压,为单片机提供了可靠稳定的辅助电源。^[8]

4 仿真验证

在MATLAB的Simulink中采用可变步长的ode23tb(stiff/TR-BDF2)进行仿真,设定初始环境温度为 250C ,把光强从 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 调节到 $800\text{W}/\text{m}^2$,设定仿真时间为 0.03 秒,MPPT和PWM的采样周期均设为 0.001e 。

最大功率跟踪系统时刻以采样的功率和电压作为参考值对输出功率进行调整。系统的最大功率跟踪在经过约 0.006s 之后基本趋于稳定。对进行电压环自适应扰动法的仿真系统不断地进行功率和电压的调整,功率最大值经过约 0.006s 之后趋于稳定,并且此时振荡值较小。

采用BUCK变换电路实现最大功率跟踪,系统在固定波长时输出电流电压波形相较于输入BUCK的功率波形和输出BUCK的功率波形来看,输出功率随着输出电流的降低而减小;由于辐射强度的不同,输出电流分别稳定在 3.2A 和 2.7A 左右,而电压变化较小,很快趋于稳定,最大工作点电流并不是在其短路电流处,通过调节DC/DC的占空比,使系统快速获得最大功率点。

5 结论

本文分析了分布式独立光伏发电系统的系统硬件设计、蓄电池充放电控制原理,讨论了通过调节BUCK电路实现MPPT的方法,并且对其仿真效果进行了分析,最终利用自适应扰动观察算法进行最大功率点的追踪。

采用PIC16F877芯片作为分布式独立光伏发电系统的主控单元,使用BUCK电路拓扑结构实现最大功率跟踪,同时使用PWM预防蓄电池的过充电、放电,令其完全符合I-U曲线,从而更好地保护蓄电池,延长蓄电池的使用寿命,进而最大程度地利用太阳能电池产生的电能。另外,对本系统中的驱动电路、采样电路、辅助电源电路等部分进行了讨论,使本系统的控制系统完备齐全。

对于分布之独立光伏发电系统进行了整体的介绍和讨论,同时在硬件上设计了接口电路,为后续独立式光伏发电系统并网控制提出了一个可行之法,也为独立发电系统远距离工作状态监控提供了良好的解决方案。

参考文献:

- [1] 杨思俊.基于MPPT技术的光伏路灯控制系统的设计[D].西安:西安科技大学硕士学位论文,2009.
- [2] Pala W.Solar Power For EUROPE,Proposal for PV Implementation up to the Year 2010.14th European PV Solar Energy Conference[R].1997.
- [3] 黄原.蓄电池光伏充放电控制器的设计[D].武汉:武汉理工大学硕士学位论文,2009.
- [4] 王长贵,崔容强,周冀主编.新能源发电技术[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [5] R.Janarthanan M.Sundar Raghavan S.Suresh Kumar. Development of Low Cost,Efficient Residential Utility Interface for Modular PV System with Improved Power Quality[J].TENCON 2004,2004(04):179-182.
- [6] 赵颖.独立运行光伏发电系统的研究[D].大连:大连理工大学硕士学位论文,2009.
- [7] 娄刚.太阳能光伏路灯系统的开发与研究[D].天津:天津大学硕士学位论文,2001.
- [8] 赵玉文.太阳能光伏技术的发展概况[C]//第五届全国光伏技术学术研讨会论文集,2009:1-8.