

基于 DSP 的光伏推流系统设计及效果分析

雷增强, 艾娇燕, 刘刚, 梁奎

(广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要:为解决水产养殖中溶氧浓度低、分布不均衡及常规增氧设备能耗高的问题,设计了一种基于数字信号处理器(DSP)的光伏推流系统。该系统以 TMS320F2812 为主控芯片,通过电压、电流检测电路对太阳能光伏阵列的输出功率进行实时跟踪,实现对蓄电池充放电切换,并采用最大功率点跟踪(MPPT)方法保证了光伏阵列的最大功率输出。用该系统对长 7 m、宽 5 m、深 1 m 的浅水区域进行连续 5 d 的推流实验,并与相同条件下无推流时的溶氧浓度空间分布情况进行对比。结果显示,无推流情况下,试验区域从岸边到湖中溶氧浓度分布呈现由低到高的梯度分布;推流后的溶氧浓度空间分布趋于均衡,且比无推流时的浓度均值提高 1~2 mg/L。研究表明,光伏推流能大大降低能耗,提高水体溶氧浓度,改善水体溶氧分布均衡性,对提高水产养殖的密度和产量具有现实意义。

关键词:水产养殖;溶氧分布均衡性;光伏推流;最大功率点跟踪

中图分类号:S969.321

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2017)01-064-06

溶氧含量是水产养殖的关键因子之一,而增氧装置是水产养殖的常用设备^[1-3]。现有的增氧装置主要有叶轮式增氧机、水车式增氧机、射流式增氧机和涡流式增氧机等,大都采用常规电力,功率大,能耗高,且大多是对局部水域增氧^[4-5]。水产养殖环境中由于光照、水草生长等因素的差异,其溶氧浓度分布呈现较大的差异,具有非均衡性。鱼类有趋氧的特性,极易聚集到溶氧浓度较高的区域,这就限制了单位面积的养殖量。目前常用的增氧装置注重提高溶氧浓度,而业界对提高水体溶氧空间分布均衡性的研究尚较少。

本研究基于数字信号处理器(DSP)的小功率浅水光伏推流系统,利用太阳能电池板提供电力,不消耗化石能源。DSP 具有低功耗、高精度数据采集、快速运算等优点^[6]。光伏发电系统采用 MPPT 控制,提高了能量转换效率,增大了光伏发电的功率输出,对增加水产养殖水体循环、提高水体溶氧的浓度、改善水体溶氧空间分布均衡性,具有现实的意义。

1 系统总体设计

光伏推流系统由太阳能光伏阵列、TMS320F2812DSP 主控芯片、检测电路、驱动电路、电源切换电路、水泵、蓄电池等部分组成(图1)。

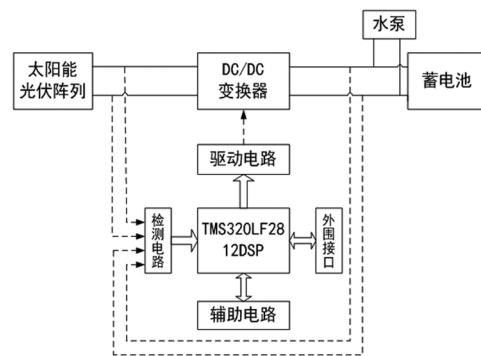


图1 系统框架图

Fig.1 Block diagram of the system

采用太阳能电池产生的电能作为系统能量来源,实时检测光伏阵列的输出电压和电流,计算出功率。当光伏阵列的输出功率大于负载功率

收稿日期:2016-06-14 修回日期:2016-09-17

基金项目:国家自然科学基金项目(61563002);广西科技计划主席基金项目(1517-08)

作者简介:雷增强(1991—),男,硕士研究生,研究方向:自动控制与检测装置。E-mail:leizengq@126.com

通信作者:艾娇燕(1970—),女,教授,硕导,研究方向:智能信息处理与应用。E-mail:aijy@gxu.edu.cn

时,光伏阵列同时对负载供电和对蓄电池充电;当光伏阵列输出功率低于负载功率时,光伏阵列和蓄电池同时向负载供电。

为保障系统能在持续3个阴雨天的情况下每天持续工作10 h,根据太阳能电池板与蓄电池的容量计算公式,并适当考虑蓄电池和太阳能电池板的耗损,选用赛维 LDK250PAFW(B) 型太阳能电池板,2片太阳能电池板串联,其单板最大功率250 W,工作电压30.5 V。推流水泵采用上海昭升电机有限公司的 ZQB-48 型直流潜水泵,其额定电压48 V,额定功率180 W。蓄电池选用华富6-CNJ-38(12V38Ah)型,4组串联成48 V。

2 系统硬件电路设计

2.1 检测电路

电流检测电路通过一个6 mΩ的采样电阻,经运放 LM358 放大后,通过 A/D 转换由 DSP 读出。电压检测电路采用电阻分压的方式。由于系统工作在室外,一天中的温差变化较大,需要对蓄电池充电电压进行温度补偿。采用温度传感器 DS18B20 实现对蓄电池的温度检测。系统中温度补偿是-4 mV/℃,即对于2 V的蓄电池,基准温度25℃,温度每上升1°,电压补偿-4 mV。

2.2 驱动电路

充放电控制及电源切换使用功率 MOS 管作开关元件。系统中选用 IRFP150 作开关元件,漏源极最大电压100 V,导通电阻0.055 Ω,漏极最大电流20 A,能够满足该控制器的性能指标。DSP 发出 PWM 控制信号来控制驱动芯片工作。本系统采用美国 IR 公司专为驱动单个 MOSFET 而设计的栅极驱动器,其输入与标准的 CMOS 电平兼容^[7]。驱动电路原理如图2所示。

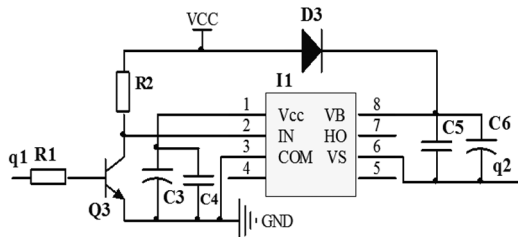


图2 驱动电路

Fig.2 Drive circuit

驱动芯片 IR2117 的外围电路采用自举技术,由二极管 MUR1100 和电容组成。其原理为:当 VS 被拉低到地时,+15 V 电源就会通过自举二极管 MUR1100 对自举电容充电,从而为 VB 提供一个电源,芯片内部的推挽结构使 HO 端口得到一个10~15 V 的驱动电压。

2.3 能量切换电路

光伏电池、蓄电池和水泵之间的切换通过两路 DC/DC 直流降压变换电路实现^[8]。能量切换电路的详细结构如图3所示。当 DSP 测得的光伏电池的输出功率大于水泵的额定功率时,开关 S1 闭合,开关 S2 拨向3,光伏电池以最大功率点给水泵供电的同时也给蓄电池充电;当输出功率小于水泵的额定功率时,开关 S1 闭合,开关 S2 拨向1端,蓄电池和光伏电池共同给水泵供电。开关 S2 的1端、3端均有防反充二极管。

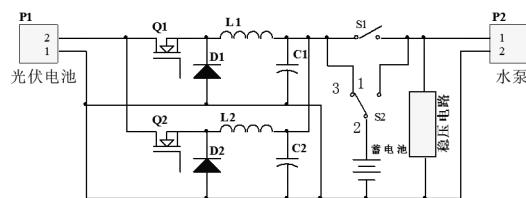


图3 能量切换电路

Fig.3 Energy switching circuit

系统中 DC/DC 降压变换电路为 BUCK 降压电路。通过调节 TMS320LF2812DSP 的事件管理模块(EV)产生的 PWM 波的占空比大小来实现降压和最大功率跟踪^[9]。电路由开关 MOS 管、续流二极管、滤波电感和滤波电容组成。续流二极管选用 MUR820,滤波电感200 μH,滤波电容470 μF。

3 系统软件设计

3.1 最大功率跟踪模块设计

系统软件设计采用模块化结构设计,包括电压、电流和温度的检测模块、最大功率跟踪模块、三阶段充电模块、显示模块、键盘模块等。最大功率跟踪(MPPT)^[10-11]是光伏系统对光伏组件的输出功率进行跟踪,使光伏组件始终工作在最大功率点(图4)。本系统采用扰动观察法实现最大功率跟踪。

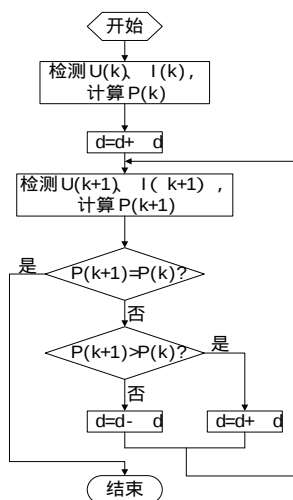


图4 最大功率跟踪程序流程图

Fig.4 MPPT program flowchart

最大功率跟踪是根据调节 PWM 的占空比 d 来控制开关元件的导通时间来实现^[12-14]。设定初始占空比 d 和扰动步长 Δd ，通过实时测得的电压 $U(k)$ 和电流 $I(k)$ 计算当前时刻光伏组件的输出功率 $P(k)$ ，并与下一时刻的 $P(k+1)$ 进行比较。若 $P(k) = P(k+1)$ ，则当前时刻光伏组件达到了最大功率输出；若 $P(k) < P(k+1)$ ，则当前时刻光伏组件未达到最大输出功率，应增加占空比， $d = d + \Delta d$ ；若 $P(k) > P(k+1)$ ，则当前时刻光伏组件未达到最大输出功率，应减小占空比， $d = d - \Delta d$ ；再重新计算输出功率并与上一时刻的进行比较，直至找到最大功率点。

3.2 三阶段充电模块设计

系统采用三阶段充电模式^[15-16]。根据铅酸蓄电池的使用说明，过放点电压 $U(a)$ 为 42 V，循环充电电压 $U(c)$ 为 58.4 V。蓄电池端电压 $U(b)$ 为检测到的蓄电池两端的电压值。第一阶段， $U(b)$ 小于 $U(a)$ ，以小电流恒流方式给蓄电池充电，直至蓄电池电压升至过放点电压；第二阶段， $U(b)$ 大于 $U(a)$ 但小于 $U(c)$ ，以大电流恒流方式给蓄电池充电；第三阶段，当 $U(b)$ 大于等于 $U(c)$ ，以恒压充电方式充电，当充电电流 $I(b) \leq 0.38 \text{ A}$ ，一段时间后充电结束（图 5）。但是，当 DSP 测得的光伏电池的输出功率大于水泵的额定功率且蓄电池为预充电状态，图 3 中的 S1 断开以避免水泵损坏；而在恒压充电后期，当检测到充电电流 $I(b) < 3 \text{ A}$ 时，开关 S2 打空，蓄电池既不

充电也不放电，水泵的功率全部由光伏电池提供。水泵不工作时，系统按三阶段充电模式充电。

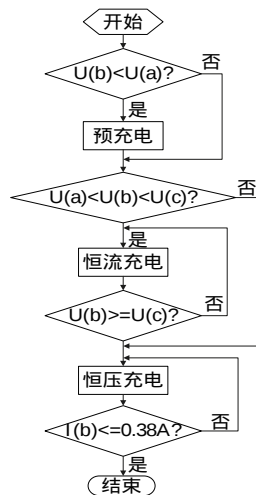


图5 三阶段充电程序流程图

Fig.5 Three-stage charging process flowchart

4 推流效果分析

4.1 试验区域及数据处理

经过实际运行测试，在蓄电池满电的情况下，有效日照达到 10 h，系统可连续稳定运行 32 h，能够满足设计要求。试验区域为一个长 200 m、宽 100 m 的人工湖，水深约 1 m。测量了 7 m×5 m 大小区域的溶氧浓度值，将试验区域划分为 35 个 1 m×1 m 的网格，每个网格为一个采样点（图 6）。

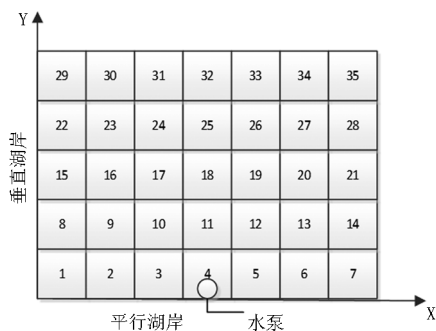


图6 实验区域网格划分

Fig.6 Grid graph of the experimental regions

溶氧测量深度为水面下约 20 cm。水泵放置在平行湖岸且靠近岸边的位置，垂直湖岸向湖中推流，水泵出水口在水面下约 20 cm。在同一实验区域，选取温度、光照强度等条件差异不大的

10 d,其中 5 d 不推流,另外 5 d 进行推流,推流时将水泵出水口放置在水下 5 cm 处,分别测量两种情况的溶氧浓度平均值,并对比分析。

实验时间为每天的 8:30~10:30,分别测量 8:30、9:30、10:30 这 3 个时刻各采样点的溶氧浓度。为减小实验误差,每次测量均在 5 min 内完成。

为了更准确地体现试验区域溶氧浓度分布差异,需要对实验区域内的 35 个采样点进行拟合插值。用 RBF 神经网络给实验区域的溶氧浓度插值^[17-20],以采样点的坐标作为网络输入,溶氧浓度值作为网络输出,在 MATLAB 平台上调用神经网络工具箱,得到了 400×600 个坐标点插值结果。

4.2 溶氧浓度空间分布拟合

分别根据无推流和有推流时的 3 个时刻得到的 400×600 个坐标点插值结果绘制浓度分布图(图 7、图 8),通过颜色的变化来表示溶氧浓度值

的高低,颜色越深表示溶氧越低,颜色越浅表示溶氧越高。X 轴表示湖岸,Y 轴垂直湖岸。此外,还根据插值结果绘制了溶氧浓度频率分布直方图(图 9)。

无推流时,3 个时刻的岸边颜色均较深,离岸边越远的地方颜色越浅,溶氧浓度分布呈明显的梯度分布;有推流情况下,8:30 时刻,溶氧浓度空间呈现梯度分布,随着时间的推移,浓度分布分层现象逐渐减小;到 10:30 时刻,实验区域颜色没有明显的差异,不再呈现梯度分布。从图 9 可以看出,9:30 时刻,推流前后溶氧浓度范围由 3~5.5 mg/L 增加到了 4.8~5.8 mg/L;10:30 时刻,推流前后溶氧浓度范围由 4.2~7.2 mg/L 增加到了 7.2~8.2 mg/L。整个实验区域的溶氧浓度,有推流时比无推流时要高出 1~2 mg/L,而且推流后溶氧浓度更加集中,分布更加均匀。因此,推流能有效改善溶氧浓度的空间分布均衡性,提高溶氧浓度。

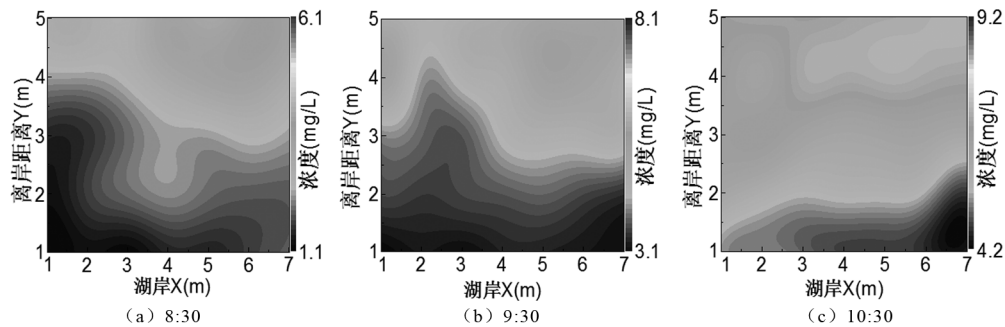


图7 无推流情况下溶氧浓度分布浓度图

Fig.7 Concentration diagram of the spatial distribution of dissolved oxygen concentration with no push flow

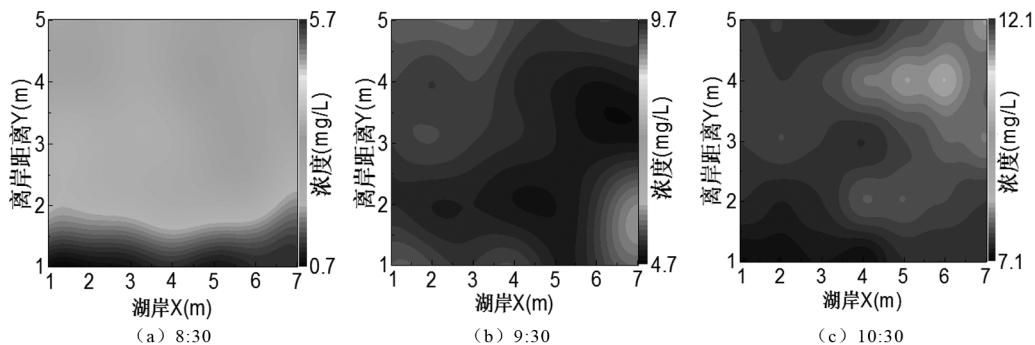


图8 推流情况下溶氧浓度分布浓度图

Fig.8 Concentration diagram of the spatial distribution of dissolved oxygen concentration with push flow

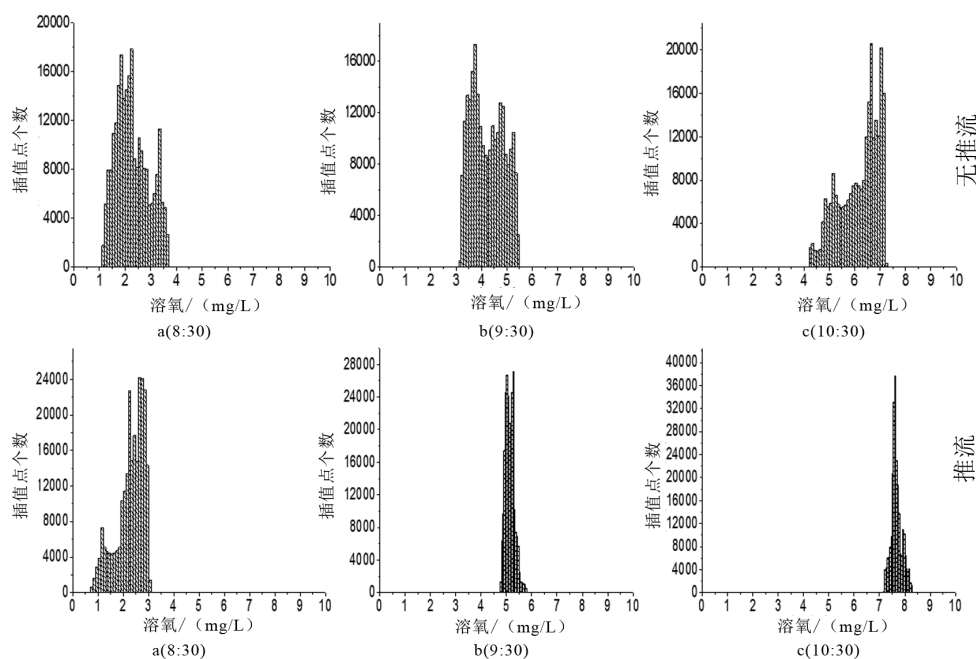


图9 无推流和推流情况下溶氧浓度频率分布直方图

Fig.9 Histogram of dissolved oxygen concentration frequency distribution with and without push flow

5 结论

光伏推流系统通过光伏电池的光电转换,用蓄电池储存能量,可以确保连续稳定的动力,能有效提高水体中溶氧的分布均衡性,推流后的溶氧浓度比推流前的提高了 1~2 mg/L。研究结果对提高水产养殖的密度和产量具有现实意义。但是,系统对溶氧空间分布均衡性的改善区域还比较小,对较大区域的研究还有待开展。□

参考文献

- [1] 蒋建明,史国栋,赵德安,等.基于 Zigbee 通信的节能型混合式机械增氧系统[J].农业机械学报,2013,44(10):242-247.
- [2] 李海燕,鲁敏,施银桃,等.城市景观水体的净化及增氧[J].武汉科技学院学报,2004,17(1):56-60.
- [3] 吴晨,王海燕,骆建波,等.太阳能移动式水体增氧装置的设计与试验[J].渔业现代化,2014,41(4):49-53.
- [4] 谷坚,顾海涛,门涛,等.几种机械增氧方式在池塘养殖中的增氧性能比较[J].农业工程学报,2011,27(1):148-152.
- [5] 张宇雷,倪琦,刘晃.基于间歇非稳态方法的溶氧装置增氧能力检测[J].农业工程学报,2010,26(11):145-150.
- [6] 徐科军,陈志辉,傅大丰.TMS320F2812 DSP 应用技术[M].北京:科学出版社,2010:3-10.
- [7] 张耕川.基于 FPGA 的太阳能充电系统的研究与设计[D].西安:西安科技大学,2014.
- [8] 殷忠宁.独立光伏发电系统最大功率跟踪及能量控制技术

的研究[D].重庆:重庆大学,2012.

- [9] 戴智鹏,单鸿涛,纪明祥.基于 TMS320LF2812 单相 SPWM 波形发生设计[J].装备维修技术,2012(2):58-60.
- [10] 周林,武剑,栗秋华,等.光伏阵列最大功率点跟踪控制方法综述[J].高电压技术,2008,34(6):1145-1154.
- [11] 陈兴峰,曹志峰,许洪华,等.光伏发电的最大功率跟踪算法研究[J].可再生能源,2005,1(1):8-11.
- [12] 徐鹏威,刘飞,刘邦银,等.几种光伏系统 MPPT 方法的分析比较及改进[J].电力电子技术,2007,41(5):3-5.
- [13] 崔岩,蔡炳煌,李大勇,等.太阳能光伏系统 MPPT 控制算法的对比研究[J].太阳能学报,2006,27(6):535-539.
- [14] 茆美琴,余世杰,苏建徽.带有 MPPT 功能的光伏阵列 Matlab 通用仿真模型[J].系统仿真学报,2005,17(5):1248-1251.
- [15] 胡恒生,王慧,赵徐成,等.蓄电池充电方法的分析和探讨[J].电源技术应用,2009,12(8):1-4.
- [16] 孙超,郭勇,陈新.独立光伏系统中太阳能充电器的研究[J].电力电子技术,2009,43(4):44-46.
- [17] FRANKE R.Scattered data interpolation:Tests of some methods[J].Mathematics of computation,1982,38(157):181-200.
- [18] 李启权,王昌全,岳天祥,等.基于 RBF 神经网络的土壤有机质空间变异研究方法[J].农业工程学报,2010,26(1):87-93.
- [19] 陈飞香,程家昌,胡月明,等.基于 RBF 神经网络的土壤铬含量空间预测[J].地理科学,2013,1(1):69-74.
- [20] 王银燕,梁荣华,吴福理,等.基于 RBF 插值的画面复原算法[J].系统仿真学报,2008(S1):404-406.

(下转第 74 页)