

船用太阳能光伏系统的建模与仿真

孙丽兵¹ 申康² 吴国柏² 边涛³ 李肖艳⁴

1. 上海电子信息职业技术学院 上海 201411;

2. 北部湾大学 广西钦州 535000

3. 北极星云空间技术股份有限公司 上海 200438

4. 上海船舶工艺研究所 上海 200032

摘要: 光伏发电以其清洁、可再生和储量广泛而受到越来越多的关注和利用。但在船舶上熟练应用,仍需解决关键技术问题。本文根据光伏系统的理论探索学习,创建完整的光伏发电系统框架,重点探究光伏电池和光伏阵列的特性。在 MATLAB 下获得必要的模拟结果,讨论多种最大功率点跟踪模式,并建立多种仿真模型,验证建模系统的可操作性和合理性。

关键词: 新能源; 船用光伏; 最大功率点跟踪; 仿真模型

引言

太阳能光伏发电作为一种新型绿色可再生能源,近年得到迅猛的发展。西方造船强国在太阳能技术船舶应用上已做了大量研究,投应用广泛,相比之下我国与其不可否认存在较大差距,必须加快这方面的研究,缩小差距。运用 Matlab 仿真、电力电子技术等方面的知识成立太阳能光伏电池组的数学模型,为其采取最大功率的跟踪、仿真、控制,并分析海洋复杂环境条件下太阳能光伏电池的输出特性,对确保船用太阳能发电的稳定性和适用性有重要的意义。

1. 船舶电力推进系统的组成及光伏电池分析

蓄电池组是太阳能电池的关键部件,充电过程一般分为主充、全充、浮充三个阶段,一般都是在充电后继续充电。确定充电进程,并通过实时监控和判断充电过程,掌握充电电流强度。电池记忆放电控制是通过对电池的放电过程进行控制,在特定条件下对电池进行充放电。

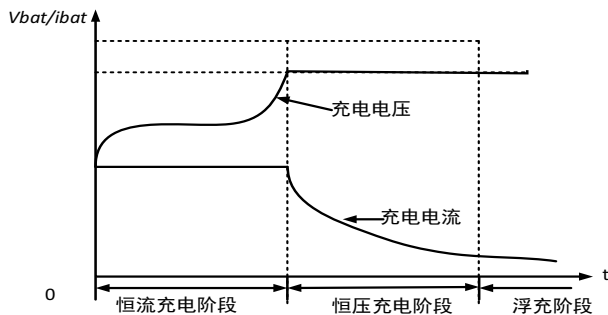


图 1 蓄电池三阶段充电电流和电压关系曲线示意图

2. 船用光伏电池的建模与仿真

通过数学建模方法建立光伏电池的 Matlab 仿真模型。在对光电系统的常规特性展开解析的时候,通常全是经过对温度和辐照度的控制来完成。P-U 曲线是指在具体的光、温条件下,光电转换器的输出功率与电压之间的关系,这作为系统的解析和 MPPT 的工作特性有着特别关键的意义。

3. MPPT 建模及仿真

最大功率点跟踪 (MPPT) 与光伏 (PV) 系统的集成是实现最大功率跟踪和传输的必要条件。如表是 PV 模型太阳能电池板的基本参数,可得最大功率点达 8.52 瓦。

3.1 恒压法

在太阳能电池的最初控制中,恒压是最常见的。采取恒压方式完成控制,其原理容易、成本低,不过当系统中的环境突发变动时,选用恒压方法难以对它进行实时、精准的跟踪。其理由体现在,伴随环境的急剧变化,象征电力性能的 I-U 曲线也会逐渐变化。

(1) 在给定 0.2 的占空比,光照强度设置为 1000W/m²,温度为 25℃ 时其仿真模块如下图所示:

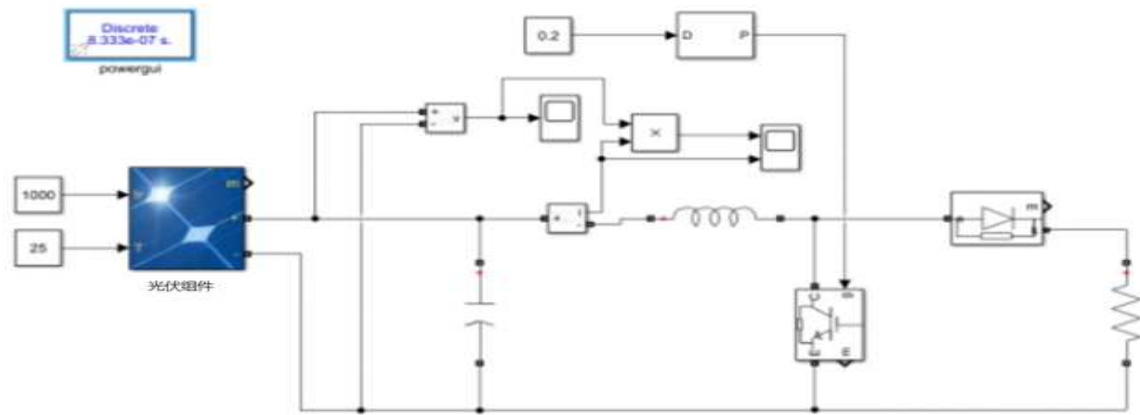


图 2 0.2 占空比仿真模块

仿真结果如下：

在占空比为 0.2 时，其最大电压超过 300V，一段时间后稳定在 248V。功率为 7.64 万千瓦，与最大功率点还存在较大差距。在相同条件下，改变占空比，接入阶跃信号。其中阶

跃信号基础参数设置，阶跃时间为 0.5 秒，初始值为 0.2，终值为 0。

电压在 62.94V，电压下降同样明显，占空比上升光伏并网电压是下降的。

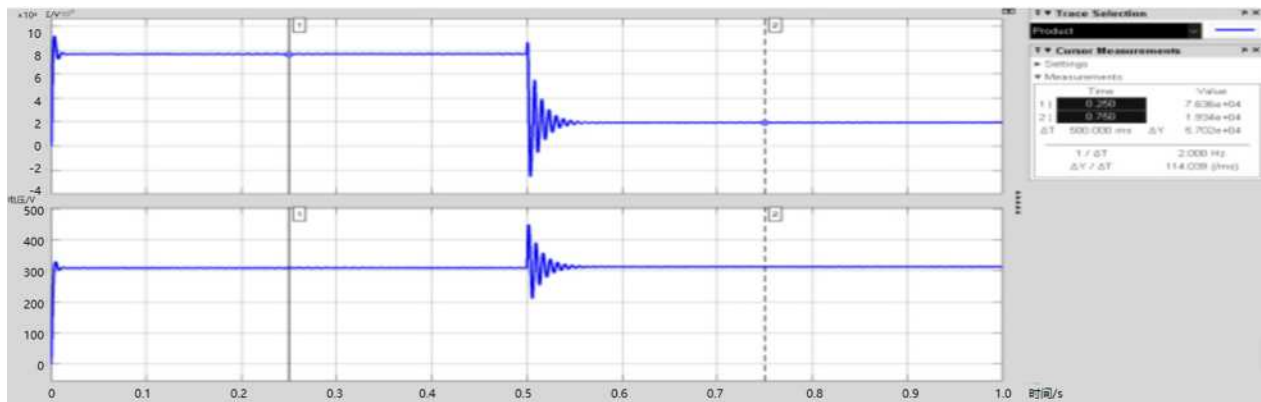


图 3 阶跃信号下功率仿真结果

可以看出占空比变化之后功率明显下降，为 19500W。一般我们检验一个闭环控制系统的动态性能时，给定

值应该有变化，阶跃时间设为 0.5 秒，初始值 290，终值 250，其动态性能如下图所示：

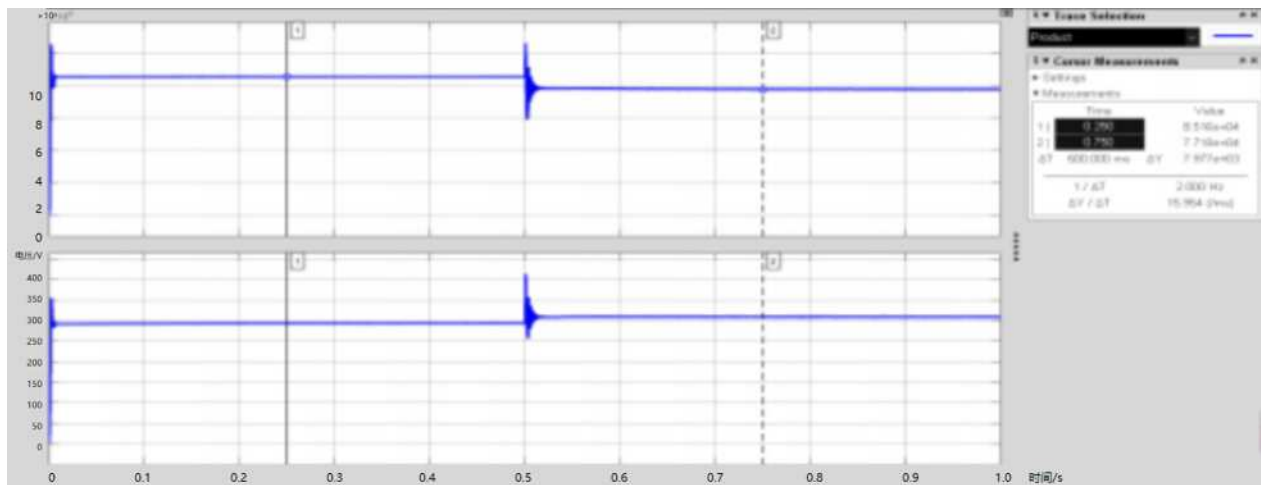


图 4 最大功率点阶跃信号下功率仿真结果

如图反馈值逐渐收敛到给定值，0.05 秒不到就跟踪到给定值。0.05 秒不到就追踪到给定值，功率也相对减小。

恒压法的缺点也同样明显，就是给定值应保持不变，若光照发生变化，最大功率点变化，给定值还保持在原来的点就没有自适应的功能。

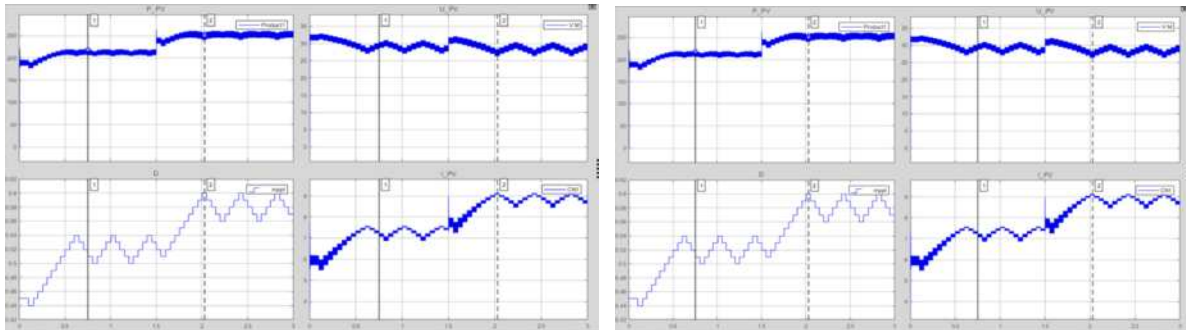
3.2 扰动观察法

干扰观测法之所以能够取得宽泛的运用，是由于它的

控制方式相对简单，只研讨到电池的端子电压和端子电流，而实际状况的变化对它的冲击很小。

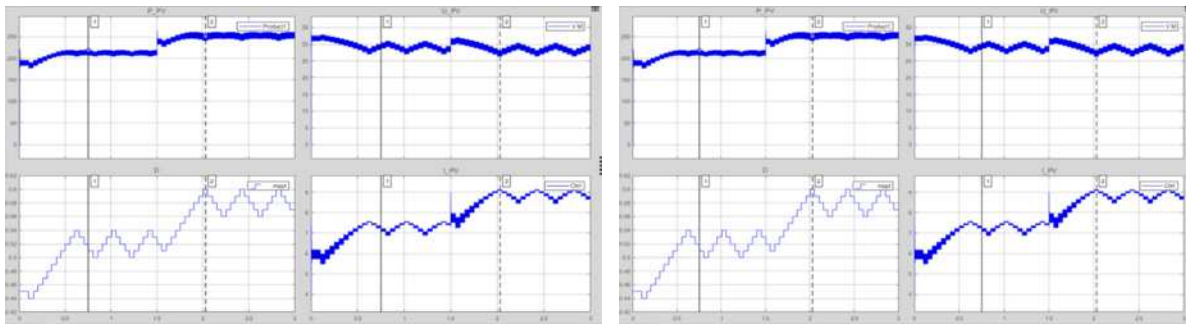
光照强度设置为 $1000\text{W}/\text{m}^2$ ，温度为 25°C 时其仿真模块。

根据算法，通过的光伏输出电压与电流的采集，实现最大功率点追踪。下图为光伏阵列输出功率 (P_{PV})、占空比变化 (D)、输出电压 (U_{PV})、输出电流 (I_{PV}) 在辐照度改变后的仿真变化，如下：



(a) 光伏阵列输出功率 (P_{PV})

(b) 输出电压 (U_{PV}) 改变



(c) 占空比变化 (D) 改变

(d) 输出电流 (I_{PV}) 在辐照度改变

图 5 扰动观察法仿真结果

图中展现了光伏阵列输出功率 (P_{PV}) 在经过一个周期调整后光伏阵列的功率基本稳定在 212，辐照度改变后跳动为 250，基本实现跟踪、占空比变化 (D) 同样在新的辐照度后进行震荡。

3.3 电导增量法

电导增量法能够判别出光伏阵列实时工作点与最大功率点相互联系，防止了扰动观察法的盲从性。

经过调整与追踪过程前一个过程达最大功率点稳定后，



图 6 负载输出功率仿真结果

电压值为 29V, 功率为 213W, 电流为 7.4A, 占空比为 0.37。之后由于辐照度的跳变, 整个光伏电池最大功率变得更高, 又经过一个追踪过程稳定下来, 电压值为 29V, 功率为 252W, 电流为 8.9A, 占空比为 0.44。

负载消耗功率第一阶段稳定于 210W, 辐照度变化后最大功率消耗稳定于 247W。电导增量法实现最大功率点追踪后就会趋于稳定, 不会出现扰动观察法来回震荡的情况。通过对电导增量法进行合理利用, 能够实时跟踪最大功率。不过当有着相对较小的 dI 和 dU 的值时, 对传感器精度有着非常高的要求, 增加了系统的硬件成本。

4. 结论

本文对船用光伏发电各建模展开了研究, 分析其在不同光照强度和温度条件下的输出特性, 研究结果证实各类环境条件下最大功率点相应电压值均为定值。探究光伏电池数学模型, 描述一些流行 MPPT 控制算法, 并在 Simulink 上建造仿真模型, 得各种环境参数下的 P-V 曲线、I-V 曲线, 因而达成 MPPT 跟踪。鉴于光伏发电本身输出的不可控性, 联结 MPPT 控制运算, 经过仿真实验证实引进储能技术能够完成能量迁移、减少功率动荡界限、平整功率输出。

参考文献

- [1] 李俊锋. 可再生能源应成我国能源发展战略重点 [J]. 能源研究与利用, 2020(01):6-8.
- [2] Uthirasamy R. et al. Design of Boosted Multilevel DC-DC Converter for Solar Photovoltaic System[J]. International Journal of Photoenergy, 2022, 2022
- [3] Enaganti Prasanth K. et al. Experimental investigations for dust build-up on low-iron glass exterior and its effects on the performance of solar PV systems[J]. Energy, 2022, 239(PC).
- [4] 王浩, 张国澎, 王雨婷等. 光储孤岛直流微电网状态变换建模及母线电压稳定控制 [J/OL]. 高电压技术 :1-13[2022-04-11].

作者简介

孙丽兵 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 光伏新能源、微电网技术, 以及特种光伏工程技术的应用。

通信作者简介: 申康 (1982—), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 电力电子建模与控制, 无线电能、新能源电力传输等。

基金项目

上海市协同创新项目 XTCX-KJ-2023-18