

[文章编号] 1003-4684(2019)01-0065-04

超级电容储能单元在光伏发电中的应用

桂园, 熊兰

(湖北工业大学太阳能高效利用湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430068)

[摘要] 利用超级电容储能单元来替代蓄电池, 基于 Matlab/Simulink 仿真平台, 在模拟光伏发电的情景下, 通过仿真验证超级电容作为光伏发电系统中储能单元的可行性和有效性。仿真结果证明了这种方案是可行的。

[关键词] 超级电容; 光伏发电; 最大功率跟踪

[中图分类号] TM615

[文献标识码] A

在光伏发电的过程中, 传统的方式是使用蓄电池作为光伏发电的储能单元, 当光照较强时, 通过蓄电池存储多余的太阳能, 然后当光照强度减弱时, 将蓄电池中存储的能源释放出来作用于负载或并网。然而对于蓄电池而言, 一方面, 工作温度的变化会严重影响蓄电池的存储容量造成空间的浪费; 另一方面, 光照的波动性和随机性会造成蓄电池的不间断充放电, 而在连续充放电过程中, 蓄电池的工作寿命会急剧减小, 同时蓄电池较长的充放电时间也制约着对太阳能的使用效率。

本文提出使用超级电容作为蓄电池的替代品而应用于光伏发电当中, 利用超级电容的储能功能来存储多余的太阳能, 同时在光照强度不足时又作为电源进行光伏单元的有功输出补偿, 超级电容还可以输出无功功率, 补偿系统的无功消耗。相对于蓄电池而言, 超级电容能够更快速实现充放电以及具有更宽的温度工作范围, 从而达到高效利用太阳能的目的^[1]。

1 系统结构和控制策略

1.1 电路结构

一般而言, 在光伏发电当中应用超级电容作为储能单元时, 有两种结构, 一种是将超级电容直接串联在光伏电池的直流侧, 通过 DC-DC 变换器进行充电和放电的控制; 另一种是将超级电容和光伏电池通过逆变 H 桥在交流侧串联, 通过对 H 桥的控制实现超级电容充放电的控制。

如果将超级电容通过逆变 H 桥串联在交流侧,

一方面可以降低逆变 H 桥承受的电压, 从而实现选用较廉价的低电压电力电子器件的目标, 减小成本; 另一方面, 此时超级电容作为独立的一级增加了电平数, 有利于减小输出的谐波, 减小输出滤波器的体积, 降低成本。所以, 本文选择使用第二种结构进行研究, 其系统结构图如图 1 所示。

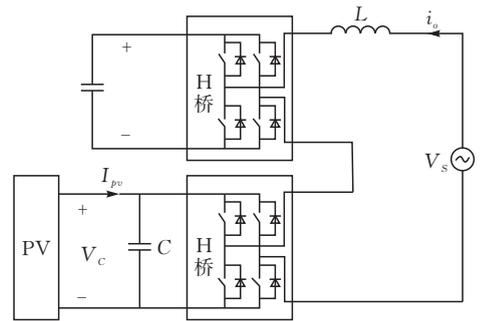


图 1 系统结构图

图 1 中, C_{sc} 是超级电容, V_c 是超级电容直流电压, H 桥是逆变桥, PV 是光伏电池, V_{pv} 和 I_{pv} 分别是光伏电池输出直流电压和电流, C 、 L 、 V_s 和 i_o 分别是直流侧电容、滤波电感、等效电网电压和逆变器输出电流。

1.2 控制策略

将超级电容单元和光伏单元看成两个电压源, 其控制矢量框图见图 2。

其中, V_{opv} 和 V_{osc} 分别是光伏单元和超级电容单元的交流输出电压, V_L 和 V_o 分别是滤波电感电压和逆变器输出电压。由图 2 可知, 本文控制思路是: 整个发电过程中, 保持光伏单元仅输出有功, 超级电容单元则根据光伏单元有功输出的情况进行相

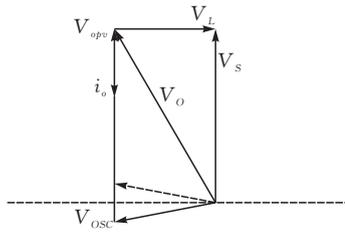


图2 控制矢量图

应的充放电控制,同时控制超级电容单元输出无功,补充滤波电感上的无功消耗。相对于蓄电池而言,此时超级电容可以作为无功补偿电源,具有更加明显的优势。

2 光伏电池模型

对于光伏电池而言,实质可以看成是电流源,其等效输出特性^[2]

$$I_{pv} = I_{sc} [1 - C_1 (e^{\frac{V_{pv}}{C_2 V_{oc}}} - 1)] \quad (1)$$

其中,

$$\begin{cases} C_1 = (1 - \frac{I_m}{I_{sc}}) e^{\frac{V_m}{C_2 V_{oc}}} \\ C_2 = (\frac{V_m}{V_{oc}} - 1) / \ln(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}) \end{cases} \quad (2)$$

式中: I_{pv} 和 V_{pv} 分别表示光伏电池输出电流和光伏电池输出电压,而 V_{oc} , I_{sc} , V_m 和 I_m 分别表示的是光伏电池的开路电压,短路电流,光伏电池处于最大功率工作点时的工作电压和工作电流。当改变外界的光照强度和温度时,其中 V_{oc} , I_{sc} , V_m , I_m 的数值就会发生改变,具体的计算方法可用下式表示

$$\Delta I = \frac{S}{S_{ref}} [1 + a(T - T_{ref})]$$

$$\Delta U = \ln[e + b(S - S_{ref})] [1 - c(T - T_{ref})]$$

其改变后的数值

$$\begin{cases} I'_{sc} = I_{sc} \Delta I \\ I'_m = I_m \Delta I \\ V'_m = V_m \Delta U \\ V'_{oc} = V_{oc} \Delta U \end{cases}$$

式中: S 和 T 是指光照强度和温度, S_{ref} 和 T_{ref} 是指标准光照强度和温度, S_{ref} 取 1000 w/m^2 , T_{ref} 取 30° 。 a , b 和 c 表示三个系数,分别是指电流对温度补偿的系数、电压对光照补偿的系数和电压对温度补偿的系数,可以查阅获得(表1)。

表1 光伏电池仿真参数

参数	数值	参数	数值
V_{oc}/V	34.8	I_{sc}/A	7
V_m/A	27.3	I_m/V	6.7
a	0.00050	b	0.00020
c	0.00288		

3 超级电容模型

图3是本文所采用超级电容模型的电路原理

图,其中, R 和 R_0 分别为超级电容当中的等效串联电阻和等效并联电阻。 R 表示超级电容在充放电的过程中内部发热所产生的损耗,其会因充放电电流的不同而产生不同的压降,会在一定程度上影响超级电容的最大充放电电流; R_0 表示超级电容的漏电流情况,其值将影响电容的长期储能性能,实际应用中, R_0 的取值一般都很大,大的甚至可达数万欧姆,但是对于超级电容而言,其漏电流一般都很小,只有几十或几百微安培^[3-4],进一步表明了超级电容的优越性。

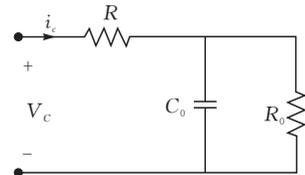


图3 超级电容等效电路

4 仿真模型

如图4所示,将超级电容单元和光伏电池单元在交流侧串联,其控制框图见图5。其中, SCcell 表示超级电容单元, PVcell 表示光伏电池单元, L , i_o 和 V_s 分别表示交流侧的滤波电感、逆变器输出电流和等效电网电压。仿真过程中,光伏电池将采用电导增量法来实现 MPPT(Max Power Point Tracking)的控制,具体方法见文献[5-6]所述。

对光伏单元的控制采用的是电压电流双环结构(图5),一方面对电网信号实现实时跟踪,另一方面实现对直流母线电压的稳定控制。而对于超级电容,根据控制矢量框图(图2),通过对光伏单元输出有功功率的变化来进行超级电容的有功输出控制,其无功输出的控制则是根据交流侧滤波电感的消耗来测定。

5 仿真过程和结果分析

按照图4所建的仿真模型进行仿真,将仿真时间设置为 2 s ,采样时间和最大步长均设为 $1 \mu\text{s}$ 。

1) 初始时刻,超级电容初始电压设置为 48 V ,保持光伏电池板光照强度不变,此时光伏电池板刚好能够提供输出,所以超级电容电压维持 48 V 不变,不进行充放电。在 $t = 1.2 \text{ s}$ 时,将光照强度减小,超级电容电压变化如图6所示,此时由于光伏电池的输出功率下降,不足以维持发电需求,所以超级电容开始释放能量,处于放电过程,其直流电压开始下降;

2) 重新设置光伏电池光照强度,在 $t = 1.2 \text{ s}$ 时,将光照强度增强,超级电容电压变化如图7所示,此

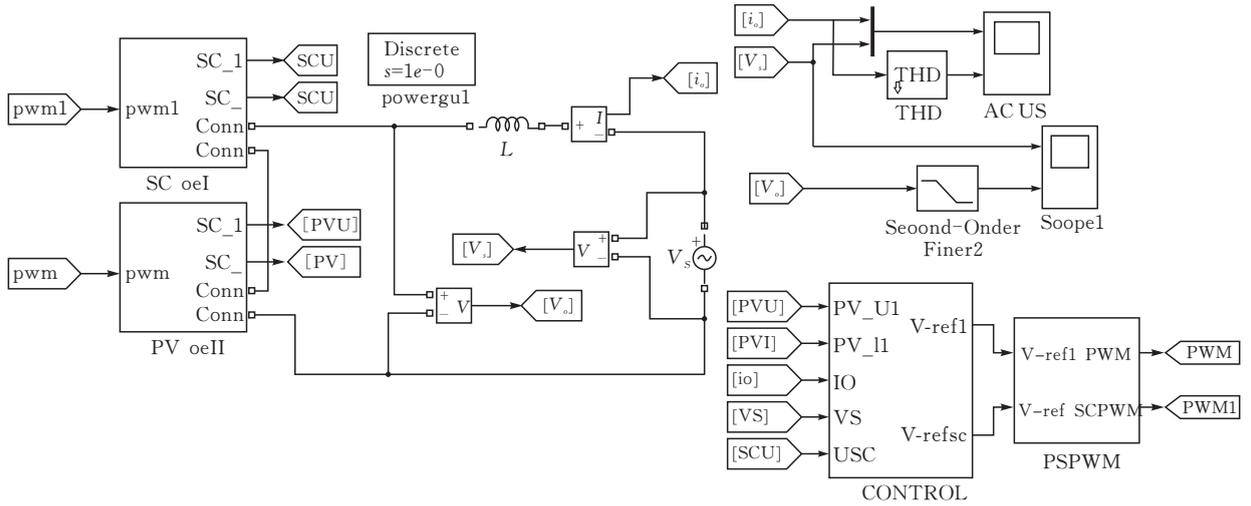


图 4 带超级电容储能的光伏发电仿真模型

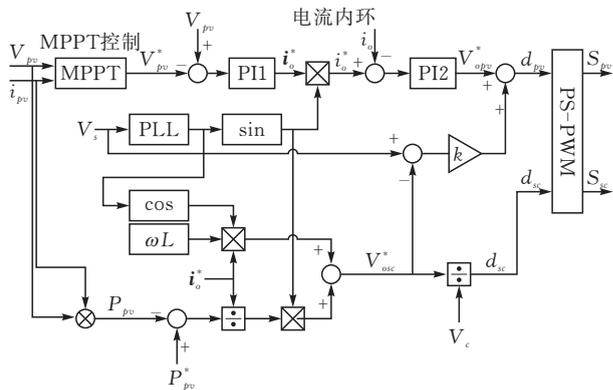


图 5 控制框图

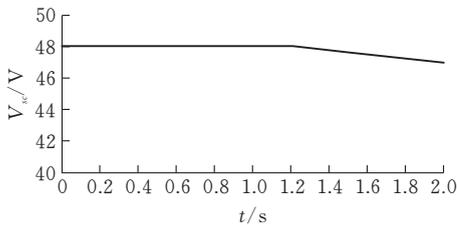


图 6 超级电容放电时电压变化

时的光伏电池的输出功率较大,超级电容开始吸收能量,进行充电储能过程,其电压由 48 V 开始缓慢升高。从图 6 和图 7 的曲线变化中可以看到,超级电容控制策略是有效的,利用超级电容作为储能单元的目标是可行的。

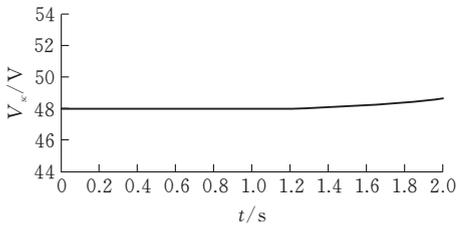


图 7 超级电容充电时电压变化

3)图 8 所示为光伏电池输出功率变化曲线,可知在整个仿真过程中光伏单元都保持着最大功率状态输出,虽然在 $t=1.2\text{ s}$ 时由于光照强度的改变使

得输出功率下降,但在整个仿真过程中,光伏单元的输出基本保持稳定,验证了本文设计的控制策略的有效性。

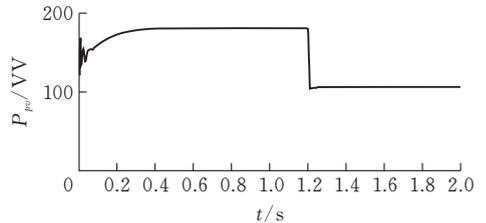


图 8 光伏电池输出功率变化曲线

4)图 9 为电网电压和逆变器输出电流的波形曲线图,可以看到,在仿真的过程中逆变器始终保持高功率因数并网。同时,从图 9 可以分析,整个仿真过程中,发电系统的总输出功率基本保持稳定,说明了超级电容储能单元通过充放电的过程可以很好地解决光伏单元因为光照波动所造成的输出功率波动的问题。

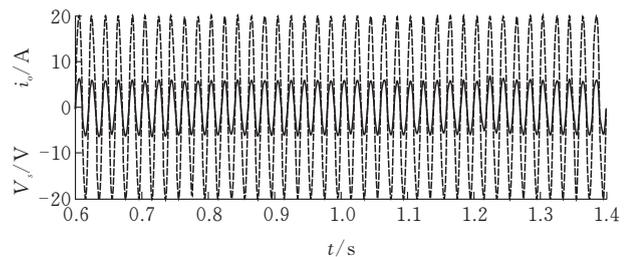


图 9 逆变器输出电流和电网电压波形

上述仿真结果说明:本文提出的利用超级电容代替传统的蓄电池作为光伏发电系统中的储能单元这一方案是可行性的,同时验证了本文为达到上述目的所采用的控制策略的有效性。

6 总结

本文提出利用超级电容代替传统蓄电池作为光伏发电中的储能单元,然后通过 Matlab/simulink

仿真软件验证了在光照强度变化时,超级电容作为储能单元能够实现快速充、放电。后续本文会针对超级电容在级联型光伏发电中的应用做进一步的研究,以期在分布式光伏发电中具有广泛的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 薛金会. 基于超级电容储能的光伏发电系统研究[D]. 华北电力大学, 2013.
[2] 孙佳. 单相光伏并网发电系统的仿真与控制研究[D].

- 华北电力大学, 2013.
[3] 张永贤,潘林. 超级电容储能器在光伏发电系统中的应用[J]. 控制工程, 2016, 23(7): 247-252.
[4] 符江升. 基于超级电容储能的光伏发电系统技术研究[D]. 西南交通大学, 2012.
[5] 杨永恒,周克亮. 光伏电池建模及MPPT控制策略[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 229-234.
[6] 盛四清,陈玉良. 基于功率预测的新型变步长电导增量法最大功率点跟踪策略[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(23): 42-48.

Application of Supercapacitor Energy Storage Unit in Photovoltaic Power Generation

GUI Yuan, XIONG Lan

(Hubei Collaborative Innovation Center for High-efficiency Utilization of Solar Energy, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China)

Abstract: In this paper, the supercapacitor energy storage unit is proposed to replace the battery since it has short charge and discharge time, long cycle life, the wide working temperature range, and other advantages compared with the traditional battery. Based on the Matlab/Simulink simulation platform, the feasibility and effectiveness of the supercapacitor as the energy storage unit in the photovoltaic power generation system are verified by simulation. Simulation results prove that this scheme is feasible.

Keywords: supercapacitor; photovoltaic power generation; maximum power tracking

[责任编辑:张岩芳]

(上接第 37 页)

Multi-field Coupled Damage Analysis and Simulation of High Temperature Concrete

ZHANG Liran, Zhou Jinzhi

(School of Civil Engin., Architecture and Environment, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China)

Abstract: In this paper, concrete is used as the unsaturated porous material, and the multi-field coupling is considered by the concrete damage equation to establish a coupled model of high temperature damage of concrete. Based on this model, the multi-field coupling simulation analysis of high temperature damage of concrete is carried out on the platform of finite element software ANSYS, and the effect of high temperature on the mechanical properties of high performance concrete is discussed.

Keywords: high temperature; concrete; multi-field coupling; damage; finite element analysis

[责任编辑:裴 琴]