

# 直流微网中PV发电系统的改进型恒压控制策略

程启明<sup>1</sup>, 孙伟莎<sup>1</sup>, 程尹曼<sup>2</sup>, 陈 路<sup>1</sup>, 李 涛<sup>1</sup>

(1. 上海电力大学自动化工程学院, 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海 200090; 2. 同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804)

**摘 要:** 直流微网中光伏(PV)系统的控制策略会影响整个微网稳定性能。当微网中出现功率冗余时,需要减少PV系统的发电功率,PV系统需从最大功率点跟踪(MPPT)工作模式切换到限功率(非MPPT)工作模式。目前常用的限功率工作模式为恒压控制,但恒压控制稳定性差,对光伏 $P-U$ 特性曲线上一些区段工作点不能稳定控制。由此该文提出改进型恒压控制,能对光伏 $P-U$ 特性曲线上的所有工作点稳定控制。在Matlab/Simulink软件上仿真PV系统独立运行时和PV系统在微网中运行时的稳定性,仿真结果验证本文所提的改进型恒压控制可解决恒压控制存在的问题。

**关键词:** 改进型恒压控制; 光伏发电系统; 直流微网; 最大功率点跟踪; 限功率工作模式

**中图分类号:** TM76

**文献标识码:** A

## 0 引 言

光伏(PV)系统发电<sup>[1]</sup>是当前研究热点问题之一,但因其输出的电能具有波动性和间歇性,将PV系统接入到微网中,并利用微网中的蓄电池、燃料电池和微型燃气轮机等其他分布式单元来平抑PV系统的输出波动,因此接入微网中是PV系统主要研究方向之一<sup>[2]</sup>。由于微网能够平衡PV系统输出电能的间歇性和波动性,为使PV系统发挥最大效能,一般都使PV系统采用最大功率点跟踪(maximum power point tracking, MPPT)控制方式,这样PV系统处于MPPT工作模式。目前MPPT控制策略有多种<sup>[3,4]</sup>,然而PV系统无论是孤立运行还是融入到微网中运行总会出现需减少PV系统输出功率的情况,如当微网处于孤岛运行下,微源输出功率过多时,微网需要减少PV输出功率,此时PV系统就不能采取MPPT控制,而需要采用限功率控制的工作模式(非MPPT工作模式)。

目前直流微网中PV系统的限功率控制策略有下垂控制<sup>[5]</sup>、恒压控制<sup>[6,7]</sup>2种,由于下垂控制的系统复杂且稳定性较弱,因此恒压控制为常用控制策略。当PV系统采用恒压控制且忽略其他微源作用时,若负荷恒定,则太阳电池的 $P-U$ 特性曲线与负

荷功率曲线的2个交点均能满足系统功率的平衡,文献[8]指出这2个点分别位于太阳电池 $I-U$ 特性曲线的电流源区和电压源区。本文对这2个区的工作点进行对比发现,电流源区的工作点稳定性更好。根据这2个工作点和最大功率点可将太阳电池 $P-U$ 特性曲线划分为4段曲线。若太阳电池的初始状态分别位于这4段曲线上,当PV系统采用恒压控制策略时,其中有1段曲线上的工作点无法稳定到电流源区的工作点。为解决恒压控制存在的问题,提出改进型恒压控制策略。恒压控制采用单电压环控制方式,本文的改进型恒压控制采用双电压环控制方式,多出一个电压环,它能使PV控制系统更加稳定,并使光 $P-U$ 特性曲线上所有工作点均能稳定到电流源区的工作点。最后通过Matlab/Simulink软件上的仿真结果验证本文所提的改进型恒压控制的可行性及优越性。

## 1 系统结构及其特性

本文以光储直流微网为例研究微网中的PV发电系统结构如图1所示,系统主要由太阳电池、蓄电池、功率变换器、负荷和控制器等组成。图1中, $U_{pv}$ 、 $I_{pv}$ 分别为太阳电池的输出电压、电流, $U_o$ 为直流母线电压, $I_o$ 为太阳电池Boost变换器输出电流

收稿日期: 2017-05-24

基金项目: 国家自然科学基金(61573239); 上海市重点科技攻关计划(14110500700)

通信作者: 程启明(1965—), 男, 硕士、教授, 主要从事电力电子控制、新能源发电控制等方面的研究。chengqiming@sina.com

母线电流,  $I_{\text{battery}}$  为蓄电池充电电流,  $\beta$  为 Boost 变换器的关断比,  $Z$  为负荷。

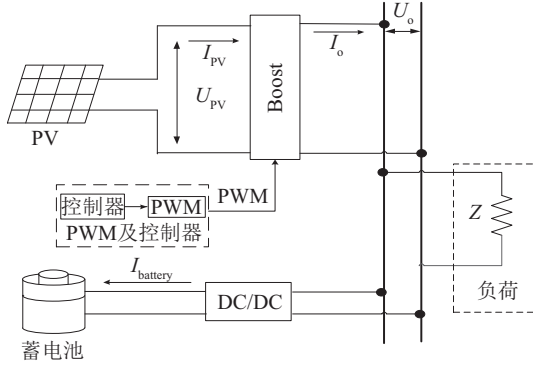


图1 直流微网的结构

Fig. 1 Structure of DC micro-grid

在标准情况下, 太阳电池的输出电流为:

$$I_{\text{PV}} = I_{\text{sc}} \times \left[ 1 - C_1 \times \left( \exp\left(\frac{U_{\text{PV}}}{C_2 U_{\text{oc}}}\right) - 1 \right) \right] \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_1 = \left( 1 - \frac{I_m}{I_{\text{sc}}} \right) \exp\left(\frac{-V_m}{C_2 V_{\text{oc}}}\right) \\ C_2 = \left( \frac{V_m}{V_{\text{oc}}} - 1 \right) \left[ \ln\left( 1 - \frac{I_m}{I_{\text{sc}}} \right) \right]^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $I_m$  ——最大功率点电流;  $U_m$  ——最大功率点电压;  $I_{\text{sc}}$  ——短路电流;  $V_{\text{oc}}$  ——开路电压。

由式(1)可得, 太阳电池  $P$ - $I$ - $U$  特性曲线如图 2 所示。

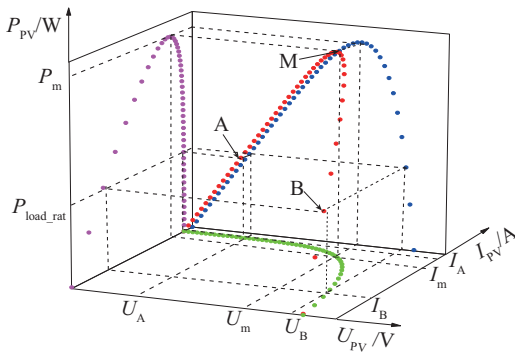


图2 太阳电池  $P$ - $I$ - $U$  特性曲线

Fig. 2  $P$ - $I$ - $U$  characteristic curves of PV cell

在理想条件下, 设 Boost 变换器的占空比为  $\alpha$ , 则 Boost 变换器的关断比  $\beta = 1 - \alpha$ 。因此 Boost 变换器两端太阳电池的输出电流电压与母线电压电流的关系为:

$$\begin{cases} U_o/U_{\text{PV}} = 1/\beta \\ I_o/I_{\text{PV}} = \beta \end{cases} \quad (3)$$

为简明起见, 本文假设蓄电池不工作, 系统负荷为电阻, 其阻值为  $R$ , 因此由式(3)可知太阳电池输出电压电流的关系为:

$$I_{\text{PV}} = U_{\text{PV}}/(R\beta^2) \quad (4)$$

将式(4)代入式(1)得:

$$\frac{U_{\text{PV}}}{R\beta^2} = I_{\text{sc}} \left[ 1 - C_1 \left( \exp\left(\frac{U_{\text{PV}}}{C_2 U_{\text{oc}}}\right) - 1 \right) \right] \quad (5)$$

由式(5)可知, 当负荷不变时 PV 系统输出的电压与 Boost 变换器的关断比成函数关系, 即:

$$U_{\text{PV}} = f(\beta) \quad (6)$$

根据式(6), 当关断比  $\beta$  从 0 变到 1 时, 太阳电池输出电压  $U_{\text{PV}}$  的变化曲线如图 3 所示。

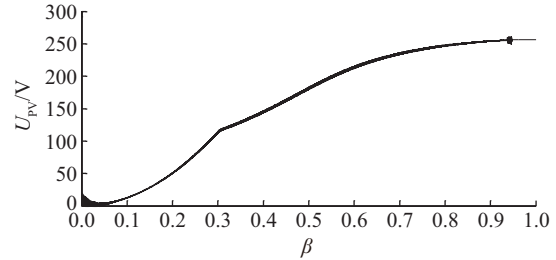


图3 太阳电池的  $U$ - $\beta$  特性曲线

Fig. 3  $U$ - $\beta$  characteristic curve of PV cell

## 2 恒压控制存在的问题

在理想条件下, PV 系统工作曲线如图 4 所示。图中, 太阳电池的  $P$ - $U$  特性曲线 1 与微网的额定负荷曲线 2 有 2 个交点 A、B, 这 2 个交点均能满足微网内功率平衡与直流母线电压稳定。因此, PV 微网系统控制策略的目标为: 经过协调控制, PV 系统能从初始状态稳定在 A、B 这 2 点处。

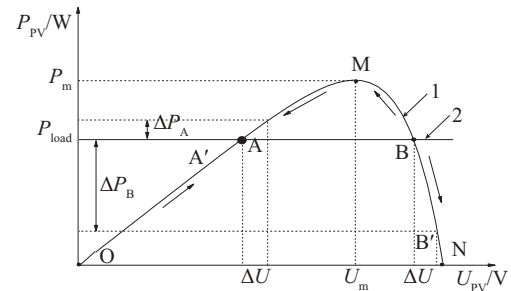


图4 恒压控制时 PV 系统的工作曲线

Fig. 4 Characteristic curves of PV cell at constant voltage control

由图2和图4可知,当PV系统输出电压在A、B这2个稳定点有一相同的较小电压波动( $\Delta U$ )时,存在的关系为:

$$\Delta P_A \ll \Delta P_B, \Delta I_A \ll \Delta I_B \quad (7)$$

由式(7)可知,当PV系统输出电压发生波动时,A点功率与电流的变化远小于B点功率与电流的变化,即PV系统A点稳定性大于B点稳定性,故而恒压控制一般选择A点作为稳定点。

PV系统恒压控制的控制框图如图5所示。图5中, $U_{o\_rat}$ 为直流母线电压的额定值。恒压控制采用单电压环控制方式。

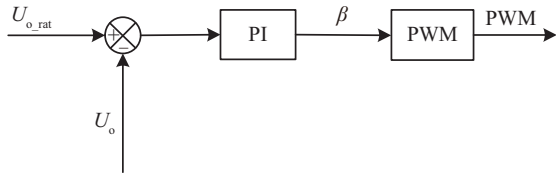


图5 恒压控制的原理框图

Fig. 5 Block diagram of constant voltage control

由图3~图5可知,PV系统的输出曲线可分为OA、AM、MB和BN共4段曲线。由于当PV系统由MPPT控制切换到恒压控制时,PV系统恒压控制的 $\beta$ 是未知的, $\beta$ 的大小与上次PV系统在恒压控制运行状态中负荷大小有关,且还受多种因素的影响,例如PV系统在MPPT控制与恒压控制之间的误切换,或者切换瞬间PV系统母线电压或太阳能电池电压对 $\beta$ 的干扰。

由图3和图4可知,由于恒压控制 $\beta$ 的未知,且 $\beta$ 对PV系统的各种特性参数是直接影响的,因此PV系统在由MPPT切换到恒压控制的瞬间,PV系统的初始状态可在PV系统 $P$ - $U$ 特性曲线上任意一点。当PV系统初始状态在OA、AM、MB这3段曲线上时,恒压控制系统最后能够稳定于A点;而当PV系统初始状态在BN这段曲线上时,由于 $P_{PV} < P_{load\_rat}$ ,  $U_o < U_{o\_rat}$ ,将导致 $\beta$ 增大, $U_{PV}$ 增大, $P_{PV}$ 减小,最后导致系统无法稳定于A点。因此,PV系统的恒压控制有一定的不稳定几率。

### 3 改进型恒压控制原理及其稳定性分析

#### 3.1 改进型恒压控制的原理

由上文知,PV系统在BN段曲线无法稳定的

原因有3点:1)PV系统的 $U$ - $\beta$ 特性曲线为单调属性,且 $\beta$ 的大小直接影响太阳电池的输出特性;2)PV系统恒压控制为单闭环,PV系统的母线电压 $U_{o\_rat}$ 能直接影响 $\beta$ ,进而能直接影响太阳电池的输出特性;3)太阳电池电压 $U_{PV}$ 无法对 $\beta$ 产生影响。

针对上述问题本文采用的解决方法为:1)采取一定的控制策略使 $U_o$ 间接影响 $\beta$ 的变化;2)通过一定控制策略使 $U_{PV}$ 能对 $\beta$ 产生影响,以免 $U_{PV}$ 过大;3)由图4可知,PV系统恒压控制无法稳定的区域全部位于最大功率点M的右侧,因此需要通过一定的控制策略使得太阳电池输出电压最终位于最大功率点左侧才能使PV系统稳定。

因此本文所提出的改进型恒压控制策略的原理框图如图6所示,图中的 $U_{PV\_ref}$ 为PV电压的参考值, $\Delta U_o$ 为 $U_o - U_{o\_rat}$ 的差值经PI<sub>1</sub>控制器后并限幅后的母线电压变化量。

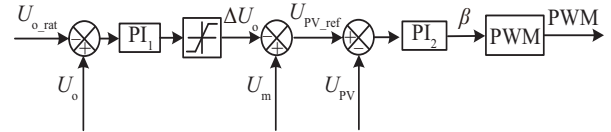


图6 本文提出的改进型恒压控制原理框图

Fig. 6 Block diagram of improved constant voltage control proposed in this paper

改进型恒压控制策略为双环控制,比恒压控制多一个电压环,此电压环能使控制系统更加稳定。图6中,母线电压 $U_o$ 的PI<sub>1</sub>控制器环为外环,无法直接影响 $\beta$ ,满足解决方法1); $U_{PV}$ 与 $U_{PV\_ref}$ 的差值经过PI<sub>2</sub>控制器内环的调节能够控制 $\beta$ ,满足解决方法2); $U_{PV\_ref} = (U_m - \Delta U_o) < U_m$ ,而 $U_{PV}$ 经过PI<sub>2</sub>控制器调节最终能稳定在 $U_{PV\_ref}$ ,使 $U_{PV}$ 最终位于最大功率点的左侧,满足解决方法3)。另外, $U_m$ 会随光强和温度的变化而改变,但 $U_m$ 变化较小,可将PV额定最大功率点电压作为最大功率点电压,即 $U_m = U_{m\_ref}$ 。

#### 3.2 改进型恒压控制的稳定性分析

PV系统采用本文提出的改进型恒压控制时,其太阳电池工作曲线如图7所示。

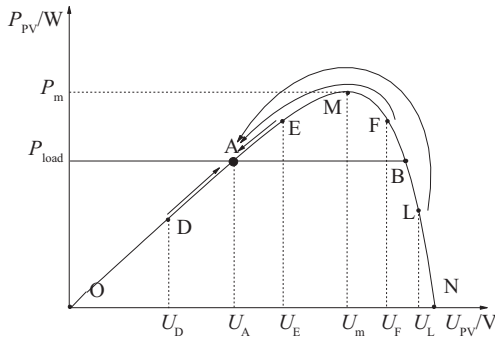


图7 改进型恒压控制时太阳能电池的工作曲线

Fig. 7 Characteristic curves of PV cell at improved constant voltage control

PV 系统的输出曲线分为 OA、AM、MB 和 BN 共 4 段曲线,当 PV 系统采用改进型恒压控制时,若 PV 系统初始状态分别在这 4 段曲线且当系统需要稳定于 A 点时,在这 4 段曲线上各参数的变化趋势如下:

1)OA 段中的 D 点。  $P_{PV} < P_{load\_rat}$ ,  $U_o < U_{o\_rat}$ ,  $\Delta U_o$  减小,  $U_{PV\_ref}$  增大,直到  $U_{PV\_ref} = (U_m - \Delta U_o) > U_{PV} = U_D$ ,  $\beta$  增大,  $U_{PV}$  增大,  $U_{PV}$  增大,最后稳定于 A 点。

2)AM 段中的 E 点。  $P_{PV} > P_{load\_rat}$ ,  $U_o > U_{o\_rat}$ ,  $\Delta U_o$  增大,  $U_{PV\_ref}$  减小,直到  $U_{PV\_ref} = (U_m - \Delta U_o) < U_{PV} = U_E$ ,  $\beta$  减小,  $U_{PV}$  减小,  $U_{PV}$  减小,最后稳定于 A 点。

3)MB 段中的 F 点。  $P_{PV} > P_{load\_rat}$ ,  $U_o > U_{o\_rat}$ ,  $\Delta U_o$  增大,  $U_{PV\_ref}$  减小,直到  $U_{PV\_ref} = (U_m - \Delta U_o) < U_{PV} = U_F$ ,  $\beta$  减小,  $U_{PV}$  减小,  $P_{PV}$  增大,然后经过 M 点进入 AM 曲线段,最后稳定于 A 点;

4)BN 段中的 L 点。  $P_{PV} < P_{load\_rat}$ ,  $U_o < U_{o\_rat}$ , 由于限幅后  $\Delta U_o > 0$ ,  $U_{PV\_ref} = (U_m - \Delta U_o) < U_m$ , 因此  $U_{PV\_ref} < U_m < U_{PV} = U_L$ , 所以  $\beta$  减小,  $U_{PV}$  减小,  $P_{PV}$  增大,然后进入 BM 段曲线,直到  $U_{PV} < U_m$  进入 MA 段曲线,最后稳定于 A 点。

因此,当采用恒压控制时,太阳能电池  $P-U$  特性曲线上 BN 曲线段的点最终无法稳定在 A 点;而当采用改进型恒压控制时,太阳能电池  $P-U$  特性曲线上所有的点经过调控最后都能稳定在 A 点。因此,改进型恒压控制的稳定性好。

## 4 改进型恒压控制的仿真分析

采用改进型恒压控制仿真时 PV 系统的基本参数见表 1。表中,  $U_A$ 、 $U_B$  分别为 A、B 这 2 个稳定

工作点的电压,  $K_{PI}$ 、 $K_{II}$  和  $K_{P2}$ 、 $K_{I1}$  分别为外环和内环 2 个控制器的比例系数、积分系数,  $\beta_D$ 、 $\beta_E$ 、 $\beta_F$ 、 $\beta_L$  分别为 PV 系统工作曲线上 D、E、F、L 点的 Boost 变换器的关断比。

表1 PV 系统的基本参数

Table 1 Basic parameters of PV system

项目	参数	数值
太阳能电池	$U_A/V$	125
	$U_B/V$	240
	$U_m/V$	200
母线	$U_{o\_rat}/V$	400
PI 控制器	$P_1$	0.20
	$I_1$	2.00
	$P_2$	0.01
	$I_2$	0.03
初始状态	$\beta_D$	0.2
	$\beta_E$	0.4
	$\beta_F$	0.6
	$\beta_L$	0.8

### 4.1 改进型恒压控制的仿真

通过上面分析可知,当 PV 系统初始条件在 BN 段曲线时,若采用恒压控制时 PV 系统无法稳定,而若采用改进型恒压控制时 PV 系统能够稳定。下面将仿真验证该论断。

PV 系统初始状态在 BN 段上的 L 点且 PV 系统采用改进型恒压控制策略时,PV 系统的母线电压  $U_{o\_rat}$  和输出电压  $U_{PV}$  的变化曲线如图 8 所示。图 8 中,当  $t=0\sim 10\text{ s}$  时,PV 系统采用 MPPT 控制;当  $t=10\text{ s}$  时,电阻突然增大,母线电压升高,此时 PV 系统由 MPPT 控制切换为改进型恒压控制;当  $t=10\sim 20\text{ s}$  时 PV 系统一直运行于改进型恒压控制模式。由图 8 可见,当 PV 系统切换到改进型恒压控制时,  $U_{PV} > 240\text{ V}$ ,此时 PV 系统位于 L 点,10 s 之后 PV 系统变化趋势为:  $U_{PV}$  逐渐降低,最后稳定于 125 V;  $U_o$  逐渐升高然后降低,最后稳定于 400 V,这说明 PV 系统各参数由 L 点沿着  $P-U$  曲线逐渐经 B 点、F 点、M 点向 A 点前进,最后稳定于 A 点,这与图 7 上 L 点的变化趋势一致。



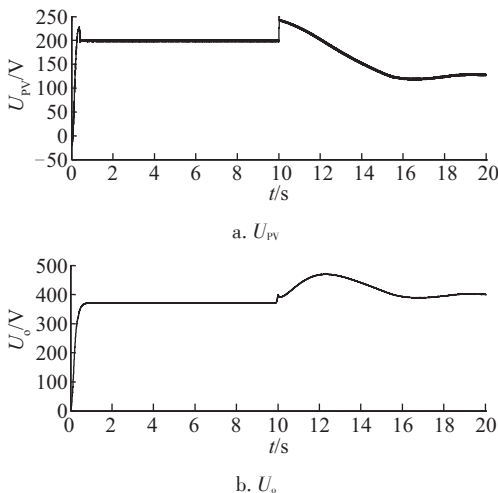


图8 L点时  $U_{PV}$  和  $U_o$  的变化曲线  
Fig. 8 Change curve of  $U_{PV}$  and  $U_o$  at L point

4.2 改进型恒压控制与恒压控制仿真对比

由于 PV 系统改进型恒压控制与恒压控制稳定性的区别主要在 BN 段曲线,下面仅仿真分析微网系统中 PV 初始工作点在 BN 段上情况。

1) 负荷类型对 2 种控制策略的影响

如果不考虑蓄电池的影响,当微网负荷分别为电阻、电机时,采用恒压控制、改进型恒压控制 2 种控制策略时的母线电压、电机转速变化曲线如图 9~图 11 所示。由图 9、图 10 可见,无论负荷是电阻还是电机,当初始状态在 BN 段曲线上时,采用恒压控制时母线电压不能稳定于额定电压 400 V;而采用

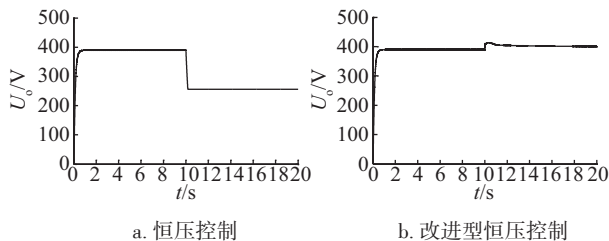


图9 负荷为电阻时母线电压的变化曲线  
Fig. 9 Change curves of DC bus voltage in impedance load

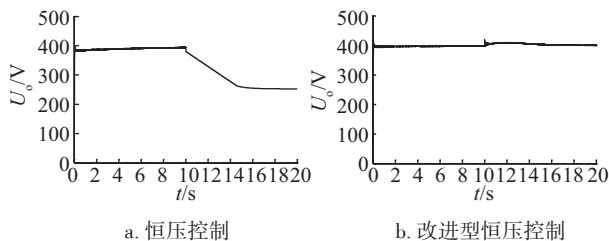


图10 负荷为电机时母线电压变化曲线  
Fig. 10 Change curves of DC bus voltage in motor load

改进型恒压控制,时母线电压则能稳定于额定电压 400 V 附近。由图 11 可见,恒压控制无法使电机稳定在额定值 220 rad/s,而改进型恒压控制能使电机的转速稳定在额定值。因此,负荷类型对改进型恒压控制稳定性影响较小,且改进型恒压控制的稳定性优于恒压控制。

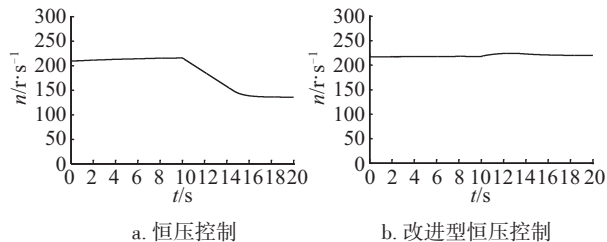


图11 负荷为电机时电机转速变化曲线  
Fig. 11 Change curves of speed in motor load

2) 微网运行时的仿真

下面以直流光储微网为例,仿真在微网中 PV 系统采取 2 种控制时整个微网的稳定性。微网系统的基本参数取值见表 2。表中,  $U_{b\_rat}$ 、 $C_{rat}$  分别为蓄电池的额定电压、额定容量,  $R$  为电阻负荷。

表2 微网系统的基本参数

Table 2 Basic parameters of micro-grid system		
名称	参数	数值
太阳电池	$I_m/A$	20
	$I_{sc}/A$	25
	$U_m/V$	200
	$U_{oc}/V$	250
蓄电池	$U_{b\_rat}/V$	200
	$C_{rat}/Ah$	650
	$U_{o\_rat}/V$	400
母线负荷	$R/\Omega$	35

本文中蓄电池采用分层控制,其控制策略见表 3。

表3 蓄电池分层控制策略

Table 3 Hierarchical control strategy of battery			
模式	母线电压	储能	光伏
1	$U_{bus} \geq 390 V$	恒流充电	恒压/改进型恒压
2	$390 V \geq U_{bus} \geq 380 V$	恒流充电	MPPT
3	$380 V \geq U_{bus} \geq 360 V$	反下垂充电	MPPT
4	$360 V > U_{bus} \geq 340 V$	下垂放电	MPPT
5	$U_{bus} < 340 V$	恒流放电	MPPT

当微网中负荷发生突变时,微网各参数变化曲线如图 12、图 13 所示。

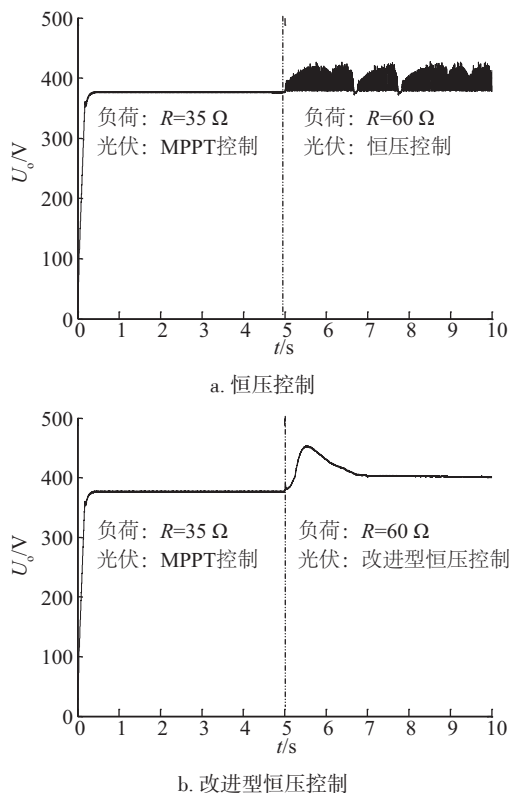
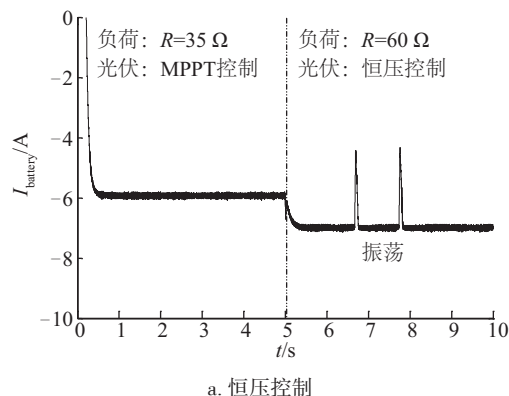
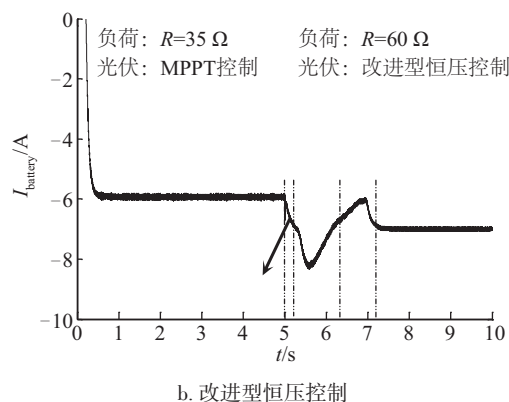


图 12 光储微网母线电压的变化曲线  
Fig. 12 Change curves of DC bus voltage in PV/battery micro-grid

由图 12 可见在  $t=5\text{ s}$ , 微网负荷  $R$  由  $35\ \Omega$  变为  $60\ \Omega$  时, 母线电压升高, PV 系统需由 MPPT 控制切换到限功率控制。当采用恒压控制时, 微网母线电压一直在  $390\text{ V}$  上下振荡, 此时母线电压无法稳定到额定值; 而当采用改进型恒压控制时, 微网母线电压经过一段时间的波动, 能够稳定到额定值  $400\text{ V}$ 。由图 13 可见, 在  $t=5\text{ s}$ , 微网负荷  $R$  由  $35\ \Omega$  变为  $60\ \Omega$  时, 母线电压升高, 蓄电池需由反下垂



a. 恒压控制



b. 改进型恒压控制

图 13 光储微网蓄电池充电电流变化曲线

Fig. 13 Change curves of charging current of battery in PV/battery micro-grid

充电控制切换到恒流充电。当采用恒压控制时, 微网母线电压一直在  $390\text{ V}$  左右振荡, 无法稳定; 而当采用改进型恒压控制时, 微网经过一段时间的波动后, 蓄电池工作模式能稳定到恒流充电。因此, 只有采用改进型恒压控制时, 微网才能得到稳定, 且微网的灵活性和鲁棒性更好。

## 5 结 论

本文指出 PV 系统限功率控制中恒压控制的存在问题, 并提出改进型恒压控制策略。通过本文的仿真与分析可得出如下结论: PV 系统采用改进型恒压控制对于光伏  $P-U$  特性曲线的整条曲线都有很好的控制效果; 本文的改进型恒压控制对 PV 系统的功率平衡和电压稳定具有明显效果; 采用改进型恒压控制时, 负荷变化对直流微网影响小, 微网的灵活性和鲁棒性更好。

### [参考文献]

- [1] 杨小龙, 程启明, 褚思远, 等. 孤岛模式下光储直流微电网变功率控制策略[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(11): 67—75.
- [1] Yang Xiaolong, Cheng Qiming, Chu Siyuan, et al. Variable power control of photovoltaic-battery DC microgrid in islanding mode [J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(11): 67—75.
- [2] 程启明, 徐 聪, 程尹曼, 等. 基于混合储能技术的光储式充电站直流微网系统协调控制[J]. 高电压技术, 2016, 42(7): 2073—2083.
- [2] Cheng Qiming, Xu Cong, Cheng Yinman, et al. Coordination control of PV charging station DC

- microgrid system based on hybrid energy storage technology [J]. *Voltage Engineering*, 2016, 42 (7): 2073—2083.
- [3] Pradhan R, Subudhi B. Double integral sliding mode MPPT control of a photovoltaic system [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2016, 24 (1): 285—292.
- [4] 程启明, 程尹曼, 倪仁杰, 等. 基于 fuzzy-PI 双模控制的光伏发电系统最大功率点跟踪仿真研究[J]. *太阳能学报*, 2011, 32(5): 707—709.
- [4] Cheng Qiming, Cheng Yinman, Ni Renjie, et al. The simulative research on MPPT methods of photovoltaic power generation system based on fuzzy-PI dual-mode control[J]. *Acta Energiæ Solaris Sinica*, 2011, 32(5): 707—709.
- [5] Jian Z H, He Z Y, Jia J. A review of control strategies for DC micro-grid [A]. *International Conference on Intelligent Control and Information Processing [C]*, Beijing, China, 2013: 666—671.
- [6] Villalva M G, Ruppert F E. Input-controlled buck converter for photovoltaic applications: Modeling and design [A]. 4th IET Conference on Power Electronics, Machines and Drives [C], New York, USA, IEEE, 2008: 505—509.
- [7] Wang P B, Wang W, Xu D G, et al. An autonomous control scheme for DC microgrid system [A]. 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society [C], Vienna, Austria, IEEE, 2013: 1519—1523.
- [8] 侯世英, 殷忠宁, 薛原, 等. 独立光伏系统恒压工作模式下最优工作区的选择[J]. *电网技术*, 2012, 36 (6): 226—231.
- [8] Hou Shiyong, Yin Zhongning, Xue Yuan, et al. Optimal work area selection of stand-alone photovoltaic generation system under constant-voltage operation mode [J]. *Power System Technology*, 2012, 36 (6): 226—231.

## IMPROVED CONSTANT VOLTAGE CONTROL OF PV POWER GENERATION SYSTEM IN DC MICROGRID

Cheng Qiming<sup>1</sup>, Sun Weisha<sup>1</sup>, Cheng Yinman<sup>2</sup>, Chen Lu<sup>1</sup>, Li Tao<sup>1</sup>

(1. College of Automation Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** The control strategy of photovoltaic (PV) system has great effect on the stability of whole microgrid system. If the power redundancy occurs in microgrid, it is needed to reduce the power of PV system, the operating mode of PV system needs to switch from maximum power point tracking (MPPT) mode to limited power (non MPPT) mode. The constant voltage control is commonly used in limited power mode, but its stability is bad, and it cannot be stably controlled on some part of the PV  $P-U$  characteristic curve. Therefore, the improved constant voltage control strategy is innovatively proposed in this paper, it can achieve stability control for all the points on the PV  $P-U$  characteristic curve. Finally, the stability of PV system on isolated operation and the stability of PV system that is integrated into microgrid system are simulated on Matlab/Simulink software. The simulation results show that the improved constant voltage control can solve the problems of constant voltage control.

**Keywords:** improved constant voltage control; photovoltaic power generation system; DC micro-grid; maximum power point tracking (MPPT); limited power mode