

文章编号:0254-0096(2020)03-0065-09

基于改进型恒压控制与直流电压控制的交流微网协调控制方法研究

程启明¹, 陈 路¹, 程尹曼², 孙伟莎¹, 李 涛¹

(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. 上海电力公司市北供电分公司, 上海 200041)

摘 要: PQ控制、下垂控制与交流微网中光伏发电、风力发电等微电源之间存在协调性差问题, 该文通过采用交流微网的直流电压控制策略, 可使直流电压控制与光伏发电、风力发电之间的配合与协调更好, 但当采用直流电压控制时, 光伏发电、风力发电微电源的恒压控制策略就无法实现, 为此改进恒压控制策略, 提出基于改进型恒压控制与直流电压控制的交流微网的协调控制策略。Matlab/Simulink 仿真结果验证了该文所提控制策略的有效性和可行性。

关键词: 改进型恒压控制; 直流电压控制; 交流微网; 逆变器; 光伏发电; 风力发电

中图分类号: TM76

文献标志码: A

0 引 言

微网可分为直流微网、交流微网、交直流混合微网3种, 其中交流微网的应用最为广泛, 而交流微网的协调控制是交流微网应用与发展的前提^[1-3]。

交流微网的控制策略可分为主从控制、对等控制两类^[4-5]。交流微网中各种微电源逆变器的控制策略可分为恒功率(PQ)控制、下垂控制、恒压恒频(V/f)控制3种^[6-7]。V/f控制用于维持母线电压与频率的稳定, 它一般用于微网孤岛模式时主控单元的控制策略。当交流微网处于孤岛模式时, 一般把蓄电池等稳定性好的微电源作为主控单元, 而把光电、风电等波动性微电源作为从控单元。从控单元一般采用PQ控制, 进而保持光伏发电、风力发电等波动性微电源输出功率的恒定。从控单元也可采用下垂控制来自分配各从控微电源之间的输出功率。

但PQ控制、下垂控制也存在不足之处。例如, 当PQ控制的给定有功功率、无功功率或下垂控制的下垂系数、母线的电压和频率等条件恒定时, 采用PQ控制或下垂控制的微电源逆变器的输出有功和无功保持恒定, 且不受外界条件的影响, 然而光电、风电等波动性微

电源的输出功率受到光强、温度、风速等外界环境的影响很大, 这就会与采用PQ控制、下垂控制的微电源逆变器输出功率不受外界条件影响的特性产生较大差异, 因此, PQ、下垂控制策略与光伏、风电等波动性微电源之间的协调性变差。

直流电压控制是一种交流微网中微电源控制策略。为了保持微电源逆变器直流侧电压的恒定, 直流电压控制将各波动性微电源的输出功率全部转化为交流电, 并输入到大电网中, 这样采用直流电压控制的逆变器输出功率完全跟随微电源输出功率的变化。因此, 直流电压控制策略与光伏、风电等波动性微电源之间具有很好的协调性。但采用直流电压控制时, 光电、风电等微电源的恒压控制^[8-12]这种限功率控制策略会无法实现。

针对该问题, 本文改进恒压控制策略。在这种控制策略中, 以蓄电池的充电功率作为变量, 当微电源输出功率过大, 致使蓄电池充电功率大于其最大值时, 能够减少光伏、风电等微电源的输出功率, 从而使得蓄电池的充电功率稳定在最大值。本文将所提的改进型恒压控制策略与直流电压控制策略两者结合起来, 提出基于改进型恒压控制与直流电压控制的交流微网的协

收稿日期: 2017-09-13

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); 上海市电站自动化技术重点实验室(13DZ2273800)

通信作者: 程启明(1965—), 男, 硕士、教授、硕士生导师, 主要从事电力系统自动化、发电过程控制、先进控制及应用等方面的研究。

chengqiming@sina.com

调控制策略。Matlab/Simulink 仿真实验结果验证这种协调控制策略的可行性与有效性。

1 PQ控制、下垂控制及其存在问题

交流微网中一般都包含如光电、风电等波动性微电源,其中光电发电系统的拓扑结构一般分为单级、双级2种类型,如图1所示。尽管单级式的结构简单,但双级式的控制容易。因此,PV发电系统一般均采用双极式结构。

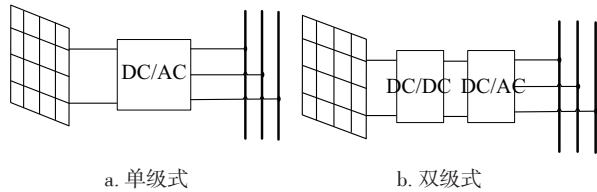


图1 光伏系统的拓扑结构

Fig. 1 Topology of PV power generation system

与PV发电系统类似,本文风电系统的拓扑结构如图2所示。图中,风力机输出的交流电通过AC/DC变换为直流电,再由DC/DC升高直流电压,最后DC/AC将直流电转换为交流电。

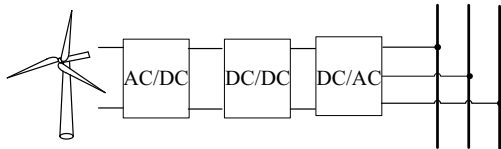


图2 风电系统的拓扑结构

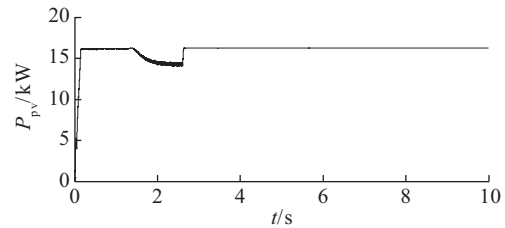
Fig. 2 Topology of wind power generation system

在上述光伏或风电系统中,并网逆变器DC/AC一般采用PQ控制、下垂控制。其中:PQ控制是根据有功功率、无功功率的给定值,调节逆变器输出的有功功率与无功功率,使其等于给定值;而下垂控制是根据下垂控制的下垂系数与交流母线的电压与频率调节逆变器输出有功功率与无功功率,使得其符合下垂特性。

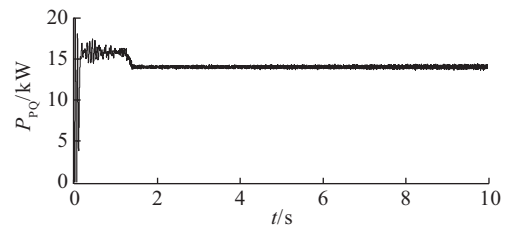
在光电或风电系统中,并网逆变器直流输入端的功率是随机波动的,它受到环境影响而变化;而逆变器若采用PQ或下垂控制,其输出功率是恒定不变的,这就会导致功率不平衡,影响微网稳定性。下面以图1b的光电双级式结构为例来分析不协调问题。

假设光电系统输出有功 $P_{pv} = 16 \text{ kW}$,DC/DC电路输出电压的额定值 $U_{dc_ref} = 800 \text{ V}$ 。若光电系统采用PQ控制,其有功给定值 $P_{PQ_ref} = 10 \text{ kW}$,则此时光电系统中有 $\Delta P = 6 \text{ kW}$ 的功率冗余量,这些冗余功率将会导致DC/DC电路输出电压 U_{dc} 急剧升高,如图3所示。图

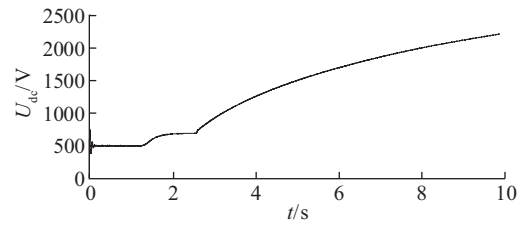
中,当 $t < 2.5 \text{ s}$ 时,由于太阳电池MPPT控制、光电系统逆变器PQ控制从零状态启动运行,使得太阳电池输出功率、逆变器输出功率等参数在 t 为 $0 \sim 2.5 \text{ s}$ 时出现突然变化;当 $t \geq 2.5 \text{ s}$ 后,光电系统达到稳定状态。



a. 太阳电池的输出功率



b. 逆变器的输出功率



c. DC/DC电路的输出电压

图3 PQ控制系统参数变化曲线

Fig. 3 Parameter variation curves of PQ control system

由图3可见,当光电系统稳定后,太阳电池输出有功 $P_{pv} = 16 \text{ W}$ 不变,说明太阳电池MPPT控制能够正常运行;当有功给定值 $P_{PQ_ref} = 14 \text{ W}$ 时,逆变器的输出有功 $P_{pq} = 14 \text{ W}$,说明光电系统PQ控制能够正常运行;当太阳电池的输出有功大于逆变器的输出有功时,光电系统DC/DC电路输出电压急剧升高,远大于其额定值,且随着时间继续上升,而光电系统DC/DC电路输出的高电压会严重影响光电系统的正常功率。

当光电系统采用下垂控制时,其结果类似。因此,光电或风电系统与PQ或下垂控制之间存在不协调问题。

2 直流电压控制原理及应用

直流电压控制是交流微网中微电源的一种控制策略,其工作原理类似于微电源的PQ控制。两者不同之处为:PQ控制的基本作用是保持逆变器输出功率 P_{pq}

恒定,而直流电压控制的基本功能是保持逆变器前端、Boost 变换器输出端电压 U_{dc} 恒定。直流电压控制原理框图如图 4 所示。

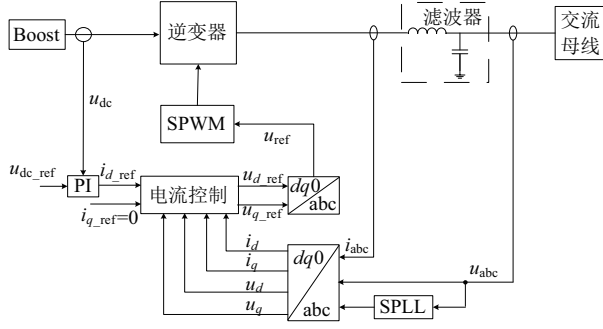
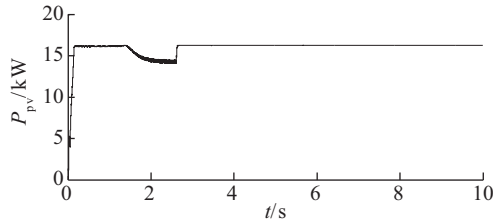


图4 直流电压控制的原理框图

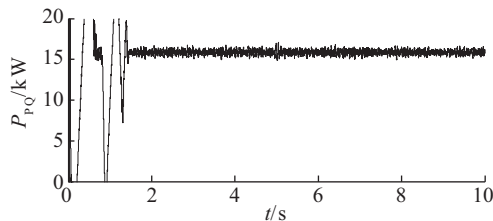
Fig. 4 Schematic diagram of DC voltage control

由图 4 可见,在直流电压控制中,首先 DC/DC (Boost)变换器输出端电压 U_{dc} 与其额定值作差,然后进行 PI 控制,得到逆变器输出电流的 d 轴分量参考值,令逆变器输出电流的 q 轴分量参考值为零,之后的过程与 PQ 控制类似,经过电流控制、 $dq0$ -abc 变换得出逆变器的 SPWM 波形,调节逆变器的输出功率,进而调节 Boost 变换器输出端电压 U_{dc} 的大小,最后使得 $U_{dc} = U_{dc_ref}$ 。因此,直流电压控制将太阳能电池输出电流全部转化为交流输出到交流母线上,在此过程中保持 Boost 变换器输出端电压 U_{dc} 恒定。

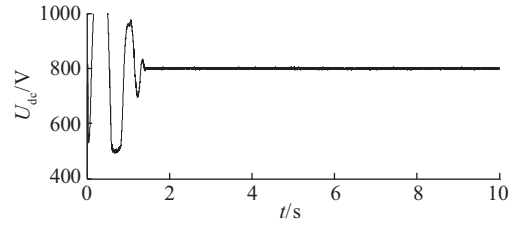
当采用直流电压控制时,光伏系统各参数变化曲线如图 5 所示。由图 5 可见,当光伏系统稳定后,太阳能电池输出有功 $P_{pv} = 16 \text{ kW}$ 不变,说明太阳能电池 MPPT 控制能够正常运行;当采用直流电压控制时,逆变器输出有功 $P_{pq} = 16 \text{ kW} = P_{pv}$,说明逆变器将太阳能电池输出的



a. 太阳能电池输出功率



b. 逆变器输出功率



c. Boost电路端电压

图5 直流电压控制系统的参数变化曲线

Fig. 5 Parameter variation curves of DC voltage control system

有功全部转化为交流电输出到交流母线上;Boost 电路输出端电压的额定值 $U_{dc} = 800 \text{ V}$,与其额定值相等,即 $U_{dc} = U_{dc_ref}$ 。

当光照强度依据图 6 所示的曲线变化时,光电系统采用 MPPT 控制,而逆变器分别采用 PQ 控制、直流电压控制时光电系统输出功率、逆变器输出功率、Boost 电路输出端电压分别如图 7~图 9 所示。

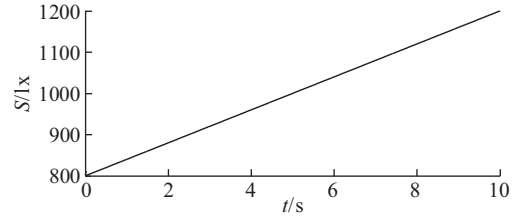
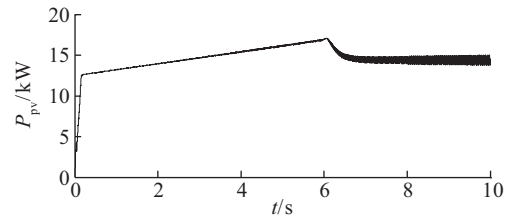


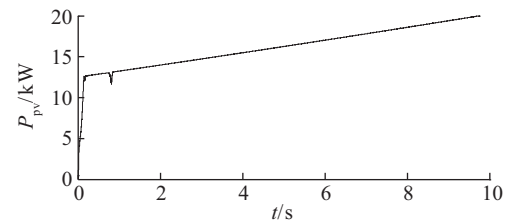
图6 光照强度变化曲线

Fig. 6 Variation curve of light intensity

由图 7 可见,当光照强度变化时,若光伏系统逆变器采用 PQ 控制,其太阳能电池输出功率不正常;而当光电系统逆变器采用直流电压控制时,太阳能电池输出功率随着光照强度的变化而变化。



a. 采用PQ控制



b. 采用直流电压控制

图7 太阳能电池输出功率变化曲线

Fig. 7 Variation curves of PV cell output power

由图 8 可见,当光伏系统逆变器采用 PQ 控制时,逆变器输出功率也不正常;而当光电系统逆变器采用直流电压控制时,逆变器功率随着太阳电池输出功率的变化而变化。

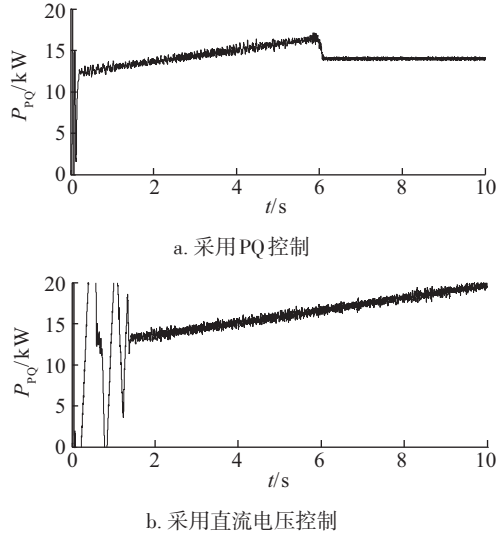


图 8 逆变器输出功率变化曲线

Fig. 8 Variation curves of inverter output power

由图 9 可见,当光伏系统逆变器采用 PQ 控制时,Boost 电路端电压变化曲线同样不正常;而当光伏系统逆变器采用直流电压控制时,Boost 电路端电压等于其额定值,保持恒定。

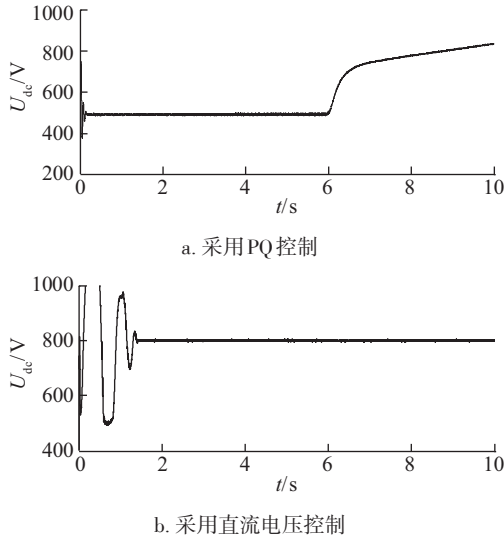


图 9 Boost 电路端电压变化曲线

Fig. 9 Variation curves of Boost circuit voltage

由以上分析知,光电或风电系统等波动性微电源,其逆变器的控制策略采用 PQ 控制、下垂控制时,

整个系统运行不正常;而采用直流电压控制时,整个系统正常运行,且其运行效果较好。因此,本文的交流微网中光伏、风电的并网控制策略采用直流电压控制。

3 本文提出的改进型恒压控制

在正常运行时,光伏系统、风电系统一般采用最大功率点跟踪(MPPT)控制,但当微网中微电源的输出功率大于负荷消耗功率与蓄电池充电功率之和时,需要采取一些控制策略减少光电系统、风电系统等微电源的发电功率,此时光电系统、风电系统等微电源工作于限功率模式。

以光伏为例,直流微网中光电系统的限功率控制通常为恒压控制策略,其基本原理框图如图 10 所示。图中, U_{dc} 为直流母线电压,也是 Boost 电路输出端电压; U_{dc_rat} 为 Boost 电路输出端电压的额定值; α 为 DC/DC Boost 电路的占空比。

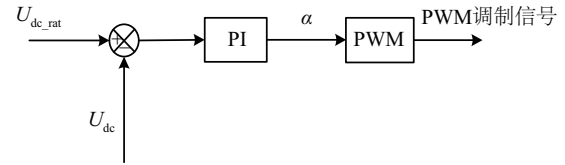


图 10 恒压控制原理框图

Fig. 10 Schematic diagram of constant voltage control

由图 10 可见,恒压控制的工作原理为:当太阳电池输出功率过多时,直流母线电压 U_{dc} 升高,使得 $U_{dc} > U_{dc_rat}$,此时将 U_{dc} 与 U_{dc_rat} 的差经 PI 控制后,调节 Boost 电路的占空比 α ,进而减少太阳电池输出功率,使得 $U_{dc} = U_{dc_rat}$;反之亦然。

然而,在交流微网中,若光电系统的逆变器采用直流电压控制,则太阳电池的恒压控制就无法运行。其主要原因为:太阳电池的恒压控制主要是根据 Boost 电路输出端电压 U_{dc} 的大小与变化来调节太阳电池的输出功率,其能够运行的前提是 U_{dc} 是变化的。直流电压控制的基本原理为保持 Boost 电路输出端电压 U_{dc} 恒定,进而调节逆变器的输出功率,而如果 U_{dc} 恒定,则太阳电池的恒压控制就无法运行。

根据恒压控制的原理,本文提出交流微网中微电源的恒压控制的改进型控制策略,其基本原理框图如图 11 所示。图中, $P_{battery}$ 为交流微网蓄电池输出功率; C_1 为蓄电池充电功率的极限值。

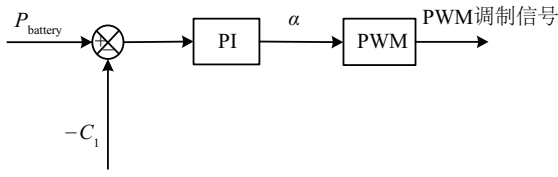


图 11 改进型恒压控制原理框图

Fig. 11 Schematic diagram of improved constant voltage control

改进型恒压控制的基本原理为：以光储微网为例，在交流光储微网中，如果蓄电池的充电功率大于其极限值即 $-P_{\text{battery}} > C_1$ 时，说明交流微网中太阳能电池的输出功率过大，此时需要减少太阳能电池的输出功率，此时将 P_{battery} 与 $-C_1$ 的差经过 PI 控制后，调节 Boost 电路的占空比 α ，进而减小太阳能电池输出功率，使得 $P_{\text{battery}} = C_1$ ；反之亦然。

4 基于恒压控制改进型与直流电压控制的协调控制

本文所研究的交流微网的拓扑结构如图 12 所示。

针对这种交流微网的拓扑结构，本文提出基于恒压控制改进型与直流电压控制的交流微网的协调控制，其控制策略见表 1。假设风电的优先权高于光电，当交流微网需要减少微电源的输出电能时，先让光电系统减少其输出电能，只有当光电系统的输出功率减少到零后，若交流微网仍需减少微电源的输出功率时，再减少风电系统的输出电能。

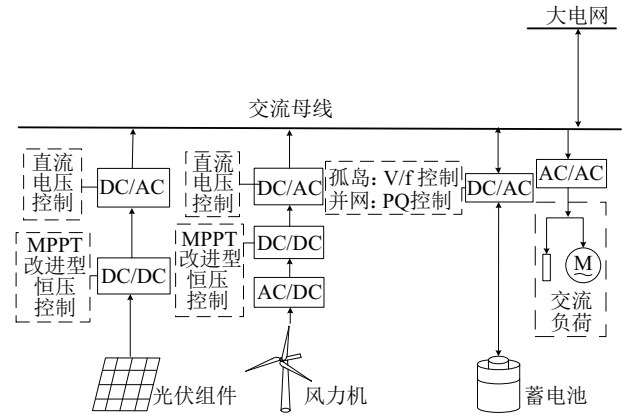


图 12 交流微网拓扑结构

Fig. 12 Topology of AC microgrid

表 1 交流微网控制策略

Table 1 AC microgrid control strategy

序号	微网工作模式	光电系统		风电系统		蓄电池	负荷
		Boost	逆变器	Boost	逆变器		
1	并网	MPPT	直流电压	MPPT	直流电压	PQ	正常
2	$P_{\text{battery}} \leq -C_1, P_{\text{pv}} = 0$	—	直流电压	改进恒压	直流电压	V/f	正常
3	孤岛 $P_{\text{battery}} \leq -C_1, P_{\text{pv}} > 0$	改进恒压	直流电压	MPPT	直流电压	V/f	正常
4	岛 $-C_1 < P_{\text{battery}} < C_2$	MPPT	直流电压	MPPT	直流电压	V/f	正常
5	$P_{\text{battery}} \geq C_2$	MPPT	直流电压	MPPT	直流电压	V/f	逐渐切除

注： P_{battery} —蓄电池的输出功率； C_1 —蓄电池的最大充电功率； C_2 —蓄电池的最大放电功率。

由表 1 可知，基于恒压控制改进型与直流电压控制的交流微网的协调控制的控制策略分为 5 种模式。它们分别为：

1) 模式 1——交流微网工作于并网模式。此时光电系统采用 MPPT 控制+直流电压控制，使得太阳能电池以最大功率输出电能，并将这些电能全部转化为合乎要求的交流电；风电系统采用交直交变换，并采用 MPPT 控制+直流电压控制，使得风电系统以最大功率输出电能，并将这些电能全部直流电后再转化为合乎要求的交流电；蓄电池采用 PQ 控制，使蓄电池以恒定功率充电；

2) 模式 2——交流微网工作于孤岛模式，且

$P_{\text{battery}} \leq -C_1, P_{\text{pv}} = 0$ 。交流微网中微电源发电功率过大，致使蓄电池的充电功率大于其最大值，且光电系统输出功率为 0，此时需要减小风电系统的输出功率，风电系统采用恒压改进控制+直流电压控制；蓄电池采用 V/f 控制，维持母线电压与频率的稳定。

3) 模式 3——交流微网工作于孤岛模式，且 $-C_1 < P_{\text{battery}} < C_2$ 。此时交流微网中各单元输出功率与输入功率能够维持稳定，因此，光伏系统采用改进型恒压控制+直流电压控制；风电系统采用 MPPT 控制+直流电压控制；蓄电池采用 V/f 控制，维持母线电压与频率的稳定。

4) 模式 4——交流微网工作于孤岛模式，且

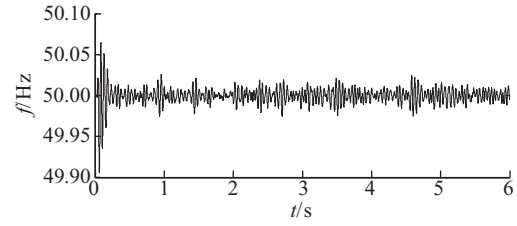
$P_{\text{battery}} \leq -C_1$ 、 $P_{\text{pv}} > 0$ 。此时交流微网中微电源发电功率过多致使蓄电池的充电功率大于其最大值,需要减少光电系统的输出功率。因此,光电系统采用 MPPT 控制+直流电压控制;风电系统采用 MPPT 控制+直流电压控制;蓄电池采用 V/f 控制,维持母线电压与频率的稳定。

5)模式 5——交流微网工作于孤岛模式,且 $P_{\text{battery}} \geq C_2$ 。此时交流微网中负荷过多致使蓄电池的放电功率大于其最大值,需要逐渐减少负荷。

根据上文交流微网的控制策略,可在 Simulink 中建立仿真模型,并进行仿真分析。

当交流微网孤岛运行时,在温度、光照强度等条件不变且负荷 $P_{\text{load}} = 10 \text{ kW}$ 恒定,而 $t = 3 \text{ s}$,光照强度 S 由 800 lx 变为 1000 lx 时,交流微网各参数变化曲线如图 13 所示。由图 13 可知,当 $t = 3 \text{ s}$ 时,由于光照强度 S 由 800 lx 变为 1000 lx ,此时光伏系统输出功率 P_{pv} 由 12 kW 增加为 16 kW ,增加了 4 kW ;蓄电池输出功率 P_{battery} 由 -5 kW 减少为 -9 kW ,减少了 4 kW ;交流微网母线电压与频率保持稳定。

当交流微网孤岛运行时,在温度、光照强度等条件不变且负荷 $P_{\text{load}} = 10 \text{ kW}$ 恒定,而 $t = 3 \text{ s}$,风速 v 由 10 m/s 变为 11 m/s 时,交流微网各参数变化曲线如图 14 所示。由图 14 可见,当 $t = 3 \text{ s}$ 风速 v 由 10 m/s 变为 11 m/s

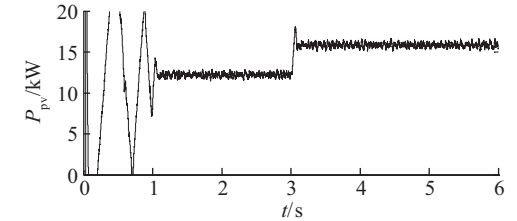


d. 母线频率

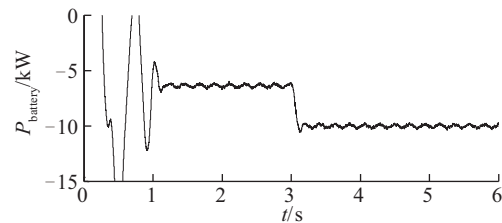
图 13 光照强度变化时交流微网参数变化曲线

Fig. 13 Variation curves of AC microgrid parameters at variation of light intensity

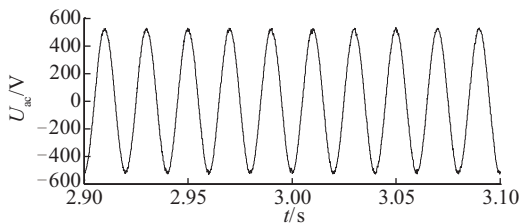
时,交流微网母线电压与频率保持稳定;风电系统输出功率 P_{wind} 由 3 kW 增加为 5 kW ,增加了 2 kW ;蓄电池输出功率 P_{battery} 由 -9.5 kW 减少为 -11.5 kW ,减少了 2 kW ,即蓄电池充电功率增加了 2 kW 。由于蓄电池充电功率的最大值 $C_1 = 10 \text{ kW}$,而在 $t = 3 \text{ s}$ 时 $P_{\text{battery}} < -C_1$,因此太阳能电池 Boost 电路由 MPPT 控制切换为改进型恒压控制,进而减少光伏系统输出功率;当太阳能电池 Boost 电路工作模式切换后,光伏系统输出功率 P_{pv} 由 16 kW 减少为 14.5 kW ,减少了 1.5 kW ;而当 $t = 3 \text{ s}$ 后,由于光伏系统输出功率减少了 1.5 kW ,此时蓄电池输出功率由 $P_{\text{battery}} = -11.5 \text{ kW}$ 增加为其最大充电功率 $P_{\text{battery}} = -C_1 = -10 \text{ kW}$,增加了 1.5 kW ,即蓄电池充电功率减少了 1.5 kW 。



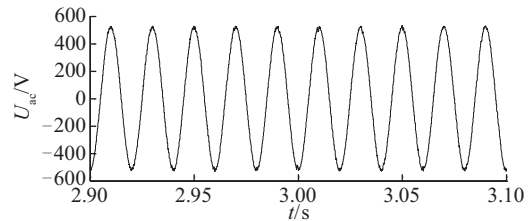
a. 光伏系统输出功率



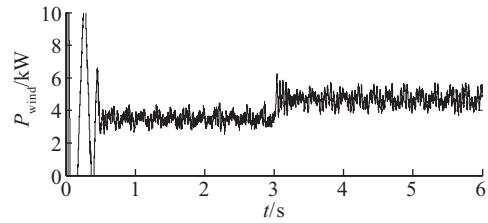
b. 蓄电池输出功率



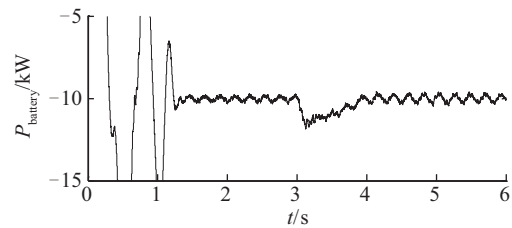
c. 母线电压



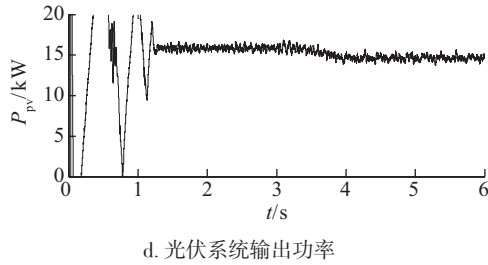
a. 母线电压



b. 风电系统输出功率



c. 蓄电池输出功率

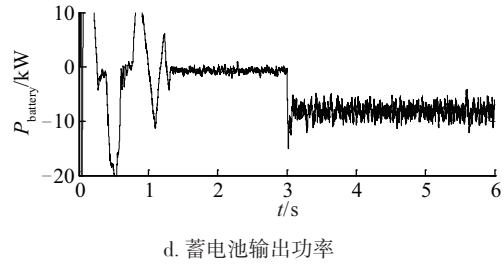


d. 光伏系统输出功率

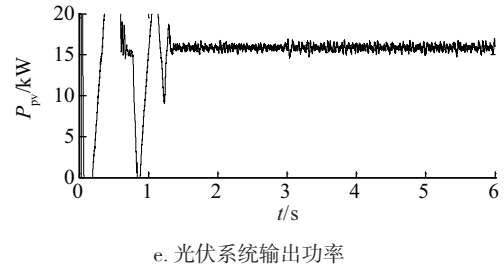
图 14 风速变化时交流微网参数变化曲线

Fig. 14 Variation curves of AC microgrid parameters at variation of wind speed

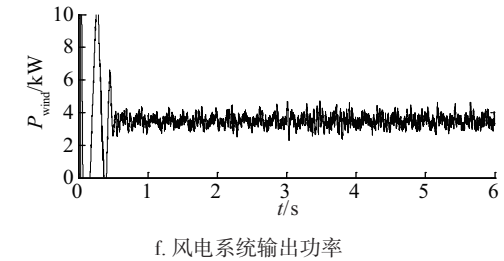
当外界条件不变、负荷 $P_{\text{load}} = 20 \text{ kW}$ 恒定,在 $t = 3 \text{ s}$ 时,交流微网由孤岛模式切换为并网模式时,其各个参数变化曲线如图 15 所示。由图 15 可见,当交流微网由孤岛模式切换为并网模式时,交流微网的母线电压与频率有变化,但变化很小;由于切换前后交流微网的母线电压与频率产生了变化,因此切换前后负荷的功率同样发生变化,但变化很小;当交流微网工作模式切换时,蓄电池的工作模式发生了变化,由 V/f 控制切换为 PQ 控制,此时蓄电池的输出功率发生变化,当 V/f 控制时,蓄电池输出功率由交流微网中各微电源的输出功率与负荷功率决定,而当 PQ 控制时,蓄电池为恒功率充电;由于光照强度、温度、风速不变,因此尽管交流微网工作模式发生切换,此时光伏系统、风电系统的输出功率



d. 蓄电池输出功率



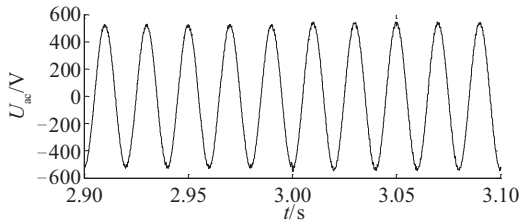
e. 光伏系统输出功率



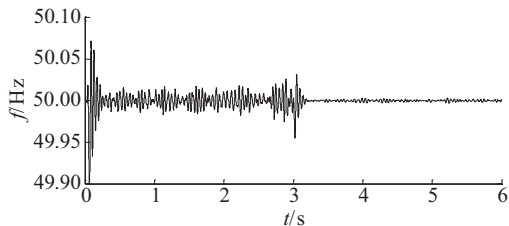
f. 风电系统输出功率

图 15 当工作模式切换时交流微网参数变化曲线

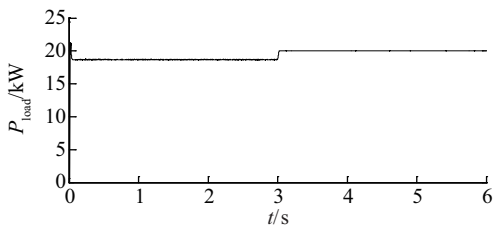
Fig. 15 Variation curves of AC microgrid parameters at mode switch



a. 母线电压



b. 母线频率



c. 负荷吸收功率

保持恒定,仅在切换的瞬间发生了时间短、变化小的冲击。

5 结 论

本文通过对交流微网控制策略的分析与研究,可得出以下主要结论:

1) 光伏或风电系统等微电源与 PQ 或 V/f 控制之间的协调性差,直流电压控制与光伏或风电系统等微电源的协调性较好,因此光伏或风电系统的逆变器可采用直流电压控制。

2) 当采用直流电压控制时,风电或光伏系统的限功率控制和恒压控制策略会无法实现,本文提出的改进型恒压控制策略可解决此问题。

3) 本文提出的直流电压控制与改进型恒压控制两者混合控制策略能很好地用于交流微网的协调控制。

[参考文献]

- [1] DASGUPTA S, MOHAN S N, SAHOO S K, et al. A plug and play operational approach for implementation

- of an autonomous-microgrid system[J]. IEEE transactions on industrial informatics, 2012, 8(3): 615-629.
- [2] CARVALHO P M S, FERREIRA L, ILIC M D. Distributed energy resources integration challenges in low-voltage networks: voltage control limitations and risk of cascading[J]. IEEE transactions on sustainable energy, 2013, 4(1): 82-88.
- [3] LOPES J A, MORERA C L, MADUREIRA A G. Defining control strategies for microgrids islanded operation[J]. IEEE transactions on power systems, 2006, 21(2): 916-924.
- [4] 程启明, 褚思远, 程尹曼, 等. 基于改进型下垂控制的微电网多主从混合协调控制[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(20): 69-75.
CHENG Q M, CHU S Y, CHENG Y M, et al. Multiple master-slave mixed coordinated control for microgrid based on improved droop control[J]. Automation of electric power systems, 2016, 40(20): 69-75.
- [5] ZHAO H R, WU Q W, LI G. Fuzzy logic based coordinated control of battery energy storage system and dispatchable distributed generation for microgrid[J]. Journal modern power systems and clean energy, 2015, 3(3): 422-428.
- [6] 吴云亚, 阚加荣, 谢少军. 适用于低压微电网的逆变器控制策略设计[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(6): 39-44.
WU Y Y, KAN J R, XIE S J. Control strategy design for inverters in low voltage microgrids[J]. Automation of electric power systems, 2012, 36(6): 39-44.
- [7] 郑永伟, 陈民铀, 李闯, 等. 自适应调节下垂系数的微电网控制策略[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(7): 6-11.
ZHENG Y W, CHEN M Y, LI C, et al. A microgrid control strategy based on adaptive drooping coefficient adjustment[J]. Automation of electric power systems, 2013, 33(7): 6-11.
- [8] HATZIARGYRIOU N, ASAND H, IRAVAN I, et al. Microgrids[J]. IEEE power and energy magazine, 2007, 5(4): 78-94.
- [9] BRACALE A, CARAMIA P, CARPINELLI G, et al. Optimal control strategy of a DC micro grid[J]. International journal of electrical power & energy systems, 2015, 67(3): 25-38.
- [10] 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.
YANG X L, CHENG Q M, CHU S Y, et al. Variable power control of photovoltaic-battery DC microgrid in islanding mode[J]. Electric power automation equipment, 2016, 36(11): 67-75.
- [11] 王毅, 张丽荣, 李和明, 等. 风电直流微网的电压分层协调控制[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(4): 16-24.
WANG Y, ZHANG L R, LI H M, et al. Hierarchical coordinated control of wind turbine-based DC microgrid[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(4): 16-24.
- [12] GUERRERO J M, VASQUEZ J C, MATAS J, et al. Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids- A general approach toward standardization[J]. IEEE transactions on industrial electronics, 2011, 58(1): 158-172.

RESEARCH ON COORDINATED CONTROL METHOD OF AC MICRO-GRID BASED ON IMPROVED CONSTANT VOLTAGE CONTROL AND DC VOLTAGE CONTROL

Cheng Qiming¹, Chen Lu¹, Cheng Yinman², Sun Weisha¹, Li Tao¹

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

Shanghai Key Laboratory Power Station Automation Technology Laboratory, Shanghai 200090, China;

2. North Power Supply Branch, Shanghai Electric Power Company, Shanghai 200041, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor coordination between PQ control/droop control and micro-sources such as photovoltaic generation, wind power coordination in AC micro-grid, this paper uses DC voltage control strategy of AC micro-grid with to obtain better cooperation and coordination between DC voltage control and photovoltaic generation, wind power in AC micro-grid. But when DC voltage control is used, the constant voltage control strategy of micro-sources cannot be achieved. For improving the constant voltage control strategy, a coordinated control strategy based on the improved constant voltage control and DC voltage control is proposed. The Matlab/Simulink simulation results show that the proposed control method is effective and feasible.

Keywords: improved constant voltage control; DC voltage control; AC micro-grid; inverter; PV generation; wind power generation