

文章编号: 1006-4729(2012)01-0001-04

基于 DIgSILENT 软件的微电网动态仿真

杨秀, 宗翔

(上海电力学院 电力与自动化工程学院, 上海 200090)

摘要: 基于 DIgSILENT 软件, 介绍了分布式电源逆变器控制模块的仿真模型, 并对由恒功率控制的微源和 V/f 控制的储能装置组成的微电网进行了联网转孤岛运行的仿真. 结果表明该系统可以稳定工作于联网和孤岛模式, 并能实现二者切换时的平滑过渡, 提高了微电网供电可靠性.

关键词: 微电网; 控制策略; DIgSILENT 软件; 孤岛运行
中图分类号: TP391.9; TP319 **文献标志码:** A

Micro-grid Dynamic Simulation Based on DIgSILENT Software

YANG Xiu ZONG Xiang

(School of Electric Power and Automation Engineering, Shanghai
University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: The simulation model of the inverter for distributed generation in the DIgSILENT software is introduced, and some simulation is taken on the micro-grid consisting of constant power control generation and V/f control energy storage element. The results show that the system can work in stable grid connected and islanding operation mode, and can achieve smooth transition between these two modes, enhancing the reliability of the power supply of micro-grid.

Key words: micro-grid; control strategy; DIgSILENT software; islanding operation

微型电网的实质就是一个能够正常稳定运行的孤岛. 一个完备的微型电网包括分布式电源、分布式储能系统、负荷及相关的控制系统^[1-3]. 微电网并网运行时, 通过公共连接点与主电网连接. 当主配电网发生故障时, 迅速断开连接点及静态开关, 由分布式电源和储能装置为微电网内的敏感负荷供电; 当主配电网故障解除后, 微电网将重新并网运行. 为了保证微电网在并网、孤岛, 以及两

种运行模式切换时的电能质量, 需要对各种微源采用合适的控制策略.

1 微电网控制策略

当微电网联网运行时, 微网内的电压和频率由主电网控制, 分布式电源采用 PQ 控制策略, 以保证可再生能源的最大利用率. PQ 控制采用功率外环、电流内环的控制方式, 最终输出控制逆变器

收稿日期: 2011-07-04

通讯作者简介: 杨秀(1972-), 男, 博士, 教授, 江苏江都人. 主要研究方向为微电网运行与控制. E-mail: yangxiu721102@126.com.

基金项目: 国家自然科学基金(50977055); 上海市科委地方能力建设项目(09160501600); 上海市科委重点科技攻关计划(10dz1203100); 上海市教委科研创新重点项目(10ZZ114); 教育部科学技术研究重点项目(210073).

的脉宽调制信号^[4,5].

当外部电网发生故障时,微电网进入孤岛运行模式,此时储能元件是微电网内唯一的功率可控装置.因此,需采用V/f控制策略,其余分布式电源仍然采用PQ控制策略.V/f控制策略采用电压和频率外环、电流内环的控制方式,最终输出控制逆变器的脉宽调制信号^[6,7].

在并网时,储能装置仍然采用基于本地信息的V/f控制策略,在微电网运行模式切换时无需改变.并网运行时,微电网内的电压和频率由主电网决定,所以在稳定运行时储能装置也能保持恒定的功率输出.孤岛运行时,储能装置通过补偿有功和无功来维持本地频率和电压水平的恒定^[8].

2 基于DIGSILENT软件的微电网建模

2.1 微电网系统模型

在DIGSILENT软件中搭建微电网系统模型,如图1所示.微电网经过变压器与配电网相连,包含分布式电源和储能装置两种微源.其中,分布式电源(假设为光伏电池)经逆变器PWM_PV接入微电网,储能装置(假设为蓄电池)经逆变器PWM_BATTERY接入微电网.微电网内的负荷为3个恒功率负载,将光伏电池和蓄电池等效为直流电压源.PWM_PV采用PQ控制策略,PWM_BATTERY采用V/f控制策略.

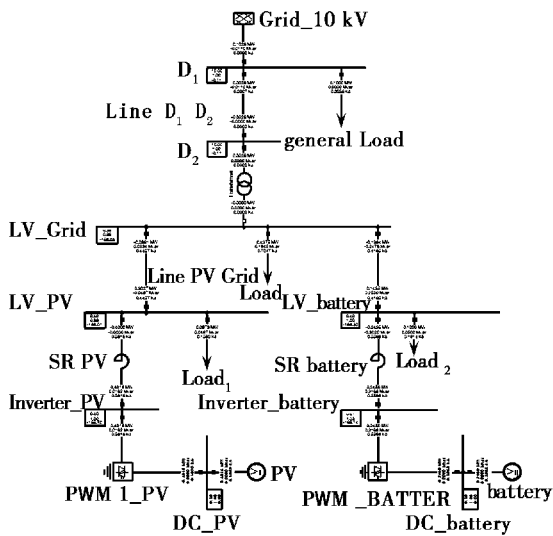
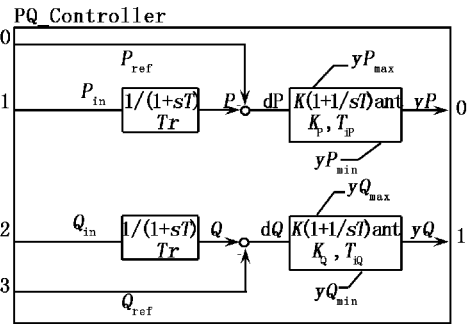


图1 微电网系统模型

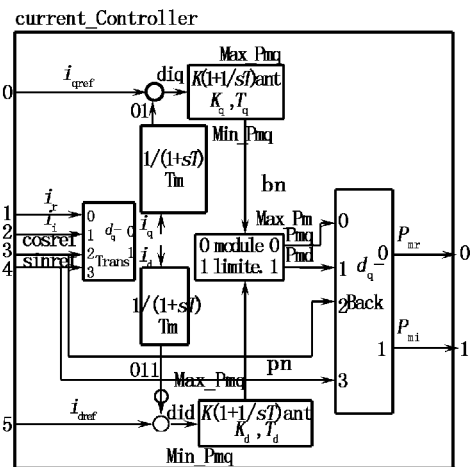
2.2 微电网建模

PQ控制策略采用了功率外环、电流内环的双环控制方式,其仿真模型如图2所示.功率环保证了逆变器的输出功率能够跟踪基准功率,而电流环最终输出控制逆变器的脉宽调制信号.

图2a中 P_{in} 和 Q_{in} 分别为图1中LV_PV母线上流入的有功功率和无功功率,即为PWM_PV逆变器有功功率和无功功率的实际输出, P_{ref} 和 Q_{ref} 为给定参考值.将实际输出值经过惯性环节与给定参考值进行比较,其差值经过PI限幅控制,使实际输出值跟踪给定参考值,同时将控制信号 i_{dref} 和 i_{qref} 输送给逆变器作为内环控制的电流基准.图2b中,dq-Trans元件将测得的电流正交量 i_r 和 i_i 转换为旋转坐标系下的直流量 i_d 和 i_q ,然后将 i_d 和 i_q 分别与经功率外环控制器送入的 i_{dref} 和 i_{qref} 比较,其差值经过PI限幅控制与dq反变换,最终得到逆变器脉宽调制信号 P_{mr} 和 P_{mi} ,并将该信号送入逆变器中.



a 功率外环



b 电流内环

图2 PQ控制仿真模型

与 PQ 控制策略相似, V/f 控制策略采用功率、电压外环和电流内环的多闭环反馈控制结构, 其仿真模型如图 3 所示. 功率外环得到 d 轴电流参考值 i_{dref} , 电压外环得到 q 轴电流参考值 i_{qref} , 且功率外环中的有功功率基准值要随着频率的变化而变化^[8]. 图 3b 中, P_{in} 为图 1 中 LV_BATTERY 母线上流入的有功功率, 即为 PWM_BATTERY 逆变器有功功率的实际输出, P_{ref} 为有功功率基准值. 将实际输出值与基准值进行比较, 再对差值进行 PI 限幅控制, 使实际输出值跟踪给定参考值, 得到 i_{dref} 并送入电流内环. 电压反馈控制环节由 LV_BATTERY 母线上的实际电压 u 与电压参考值 u_{ref} 比较, 再通过 PI 环节, 得到 i_{qref} 并送入电流内环. V/f 控制策略的电流内环与 PQ 控制中的完全相同.

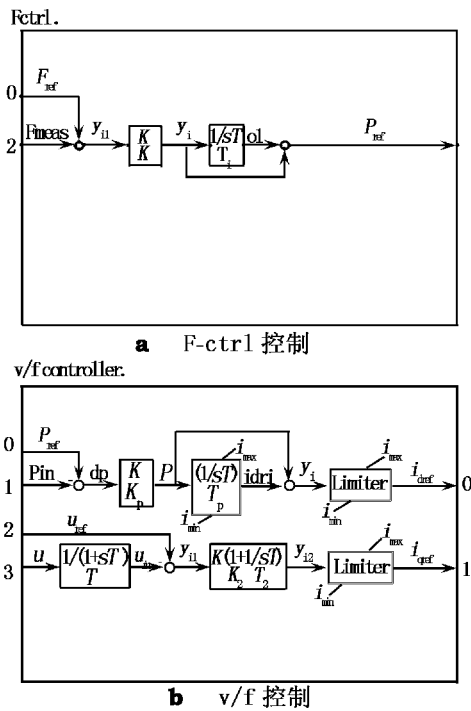


图 3 V/f 控制仿真模型

3 算例仿真与分析

对于图 1 所示的微电网系统, 设定光伏逆变器 PWM_PV 的参考功率 $P_{ref} = 0.4 \text{ MW}$, $i_{Qref} = 0$, 逆变器出口的串联电抗器 $R = 0.016 \text{ } \Omega/\text{km}$, $X = 0.0016 \text{ } \Omega/\text{km}$. 线路 Line_PV_Grid 和 Line_battery_grid 为 0.4 kV 线路, 采用软件自带电缆线路模型, 其中 $R = 0.077 \text{ } \Omega/\text{km}$, $X = 0.079 \text{ } \Omega/\text{km}$; Line_D1_D2 为 10 kV 线路 $R = 0.253 \text{ } \Omega/\text{km}$, $X = 0.113$

Ω/km . 负荷均为恒功率负载, 其中 Load 有功功率为 0.3 MW , 无功功率为 0.2 MW ; Load₁ 和 Load₂ 有功功率均为 0.1 MW , 无功功率均为 0.05 MW . 变压器参数如下: 电压等级为 $10 \text{ kV}/0.4 \text{ kV}$, 采用 D/YN 型连接, 额定容量为 2 MW , 短路阻抗为 6% , 短路损耗为 13 kW . 微电网在 2.5 s 之前联网运行, 2.5 s 时与电网断开独立运行, 在 5 s 时刻负载 Load 有功功率增加 50% , 仿真结果如图 4 所示, 其中功率基准值为 1 MW .

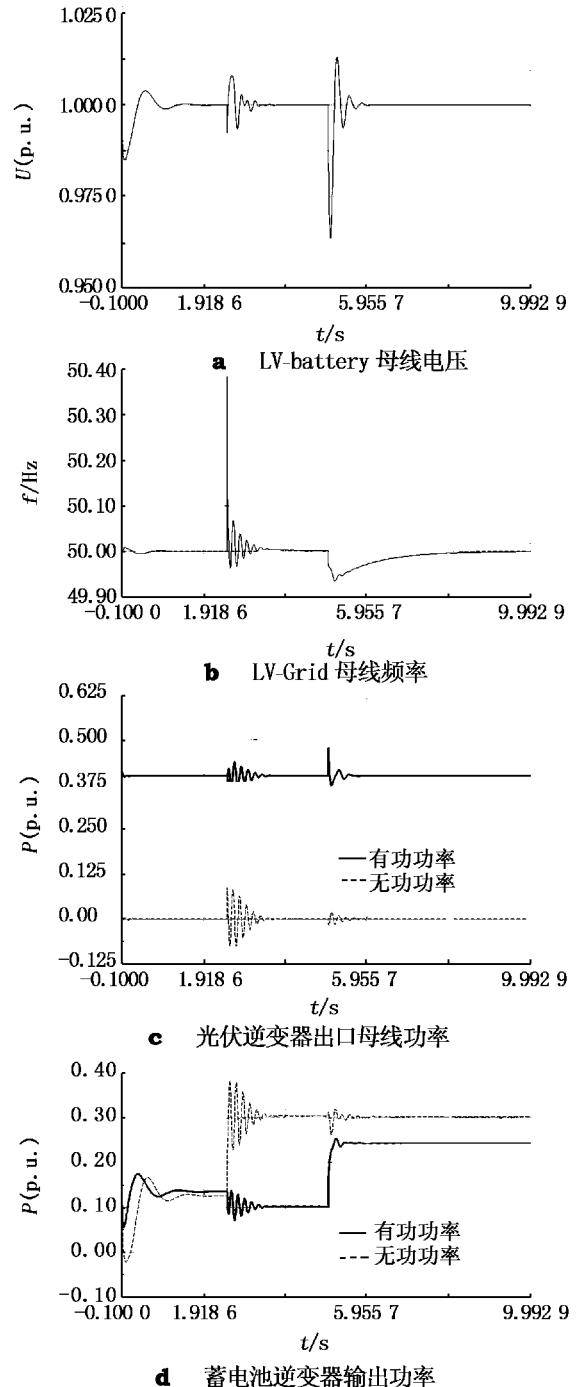


图 4 微电网运行特性仿真波形

LV_battery 母线为 V/f 控制策略的测量基准点,而 V/f 控制策略的作用之一就是要保证母线 LV_battery 的电压幅值不变,因此可将该母线作为孤岛运行时的电压基准点.由图 4a 可以看出,在微电网断开和微网内负荷变化时,电压幅值经过微小的波动,均能稳定于基准值 1.00(p.u.)由图 4b 可以看出,在微电网断开或微网内负荷变化时,母线频率会有变化,但最终均能稳定在 50 Hz,且波动幅度不超过 1%.

由于光伏逆变器采用 PQ 控制策略,因此无论外部电网如何变化,都希望光伏逆变器能够输出稳定的额定功率,即有功功率为 0.4 MW,无功功率为零.由图 4c 可以看出,虽然在 2.5 s 和 5 s 时刻功率有微小的波动,但是均很快恢复了额定输出.

由图 4d 可以看出,2.5 s 后蓄电池有功功率变为 0.1 MW,无功功率变为 0.3 MW,这是因为与主电网断开后,微网内的负荷由光伏和蓄电池共同供电,而光伏恒定输出为 0.4 MW 的有功功率,无功功率为零,总负荷有功功率为 0.5 MW,无功功率为 0.3 MW,因此剩余的功率全部由蓄电池来承担.孤岛运行后,蓄电池的有功功率减少,则可知联网运行时蓄电池是向电网输送有功功率的.而 5 s 时刻负载 Load 的有功功率增加了 0.15 MW,由于光伏的出力是保持不变的,因此蓄电池的出力也增加了 0.15 MW.

由以上仿真结果可以看出,基于 PQ 控制方式的分布式电源和基于 V/f 控制方式的储能装置相结合的微电网在运行模式由联网转为孤岛时,能保证微网频率和电压的稳定,并满足微电网内负荷的需求,实现了较为平滑的切换过程,验证了控制策略的正确性和有效性.

4 结 语

本文基于 DIgSILENT 仿真平台,对逆变器 PQ 控制策略和 V/f 控制策略进行了详细的模型搭建,并建立了含有这两种控制方式的微源的微电网.仿真结果证明基于该控制策略下的微电网能够实现运行模式的平滑过渡.但该微电网的结构形式较为简单,没有充分考虑微源的本身特性,例如光照、温度对光伏电池的影响,储能装置的长期充放电效应等,仍需作进一步的研究.

参考文献:

- [1] 鲁鸿毅. 微电网建模与控制策略的研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2010.
- [2] NIKOS Hatziaargyrious, HIROSHI Asano, REZA Iravani. Microgrids[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5(4): 78-94.
- [3] ROBERT H, PIAGI Lasseter Paola. Control and design of micro-grid components[R]. Wisconsin: RSERC, [2006-01-11]. <http://www.mendeley.com/research/control-and-design-of-microgrid-components/>.
- [4] 何俊, 彭力, 康勇. PWM 逆变器 PI 双环模拟控制技术研究[J]. 通信电源技术, 2007, 24(3): 1-3.
- [5] 摆世彬. 微电网控制技术的研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [6] 陈卫民, 陈国呈, 崔开涌. 分布式发电系统在孤岛时的运行控制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(9): 88-91.
- [7] PECAS J A, MOREIRA C L, MADUREIRA A G. Defining control strategies for micro-grids islanded operation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006, 21(2): 916-924.
- [8] 李旭光. 微电网的建模、仿真及运行特性分析[D]. 天津: 天津大学, 2009.

(编辑 白林雪)