

基于混合储能的微电网建模与仿真^{*}

尹永昊, 江 明

(安徽工程大学 电气工程学院, 安徽 芜湖 241000)

摘 要:微电网的建模仿真中,分布式电源种类多种多样且输出特性各异,由传统的简易微电源模型所构成的微电网平台很难对现今微电网的研究进行仿真.针对以上情况,搭建了包含分布式电源为光伏并网逆变器、PCS1(带超级电容器)以及 PCS2(带蓄电池)的微电网系统并对其工作过程进行了仿真,为进一步研究微电网提供了良好的仿真平台.

关键词:微电网;分布式电源;光伏并网逆变器;能源控制系统

中图分类号:TM732

文献标识码:A

文章编号:1672-058X(2015)04-0061-05

随着分布式发电和分布式储能技术研究的广泛开展,在负荷中心建立微电网模式的新型终端电网,就将电源和负荷结合起来进行协调控制和运行,越来越受到人们的关注.微电网的提出有效解决了各种分布式电源接入电网的影响,并提供了高效、安全、可靠的电能供应^[1-3].微电网是由分布式电源、储能装置、负荷及控制装置等集成的一个小型可控发输配电系统,可与大电网并网运行,也可孤立运行^[4-8],是智能电网的重要组成部分^[9-10].它是一种新型网络结构,与传统独立光伏电源系统相比,微电网系统属于有源系统,可以与大电网连接,独立光伏发电系统属于无源系统,不能与大电网连接;微电网系统更加复杂,需要配置的分布式电源较多,独立光伏发电系统只需要控制器及离网逆变器即可;微电网系统中的储能系统为四象限运行的换流器,可以实现能量双向流动,独立光伏发电系统中的储能系统为单相换流器,不能实现能量双向流动.基于微电网的以上优点,使用 Matlab 研究搭建混合储能的微电网并且进行仿真,包含的分布式电源为光伏并网逆变器、PCS1(带超级电容器)以及 PCS2(带蓄电池).

1 理论基础

1.1 微电网的组成

图 1 所示为微电网系统典型主电路拓扑图,由 1 台并网逆变器与 PCS1(带超级电容器组)和 PCS2(带蓄电池组)共同并接至系统母线上,同时母线挂上负载.大电网系统等级为 380 V 电压等级,负载为 50 kW.

1.2 三相光伏并网逆变器运行原理介绍

所搭建的三相并网逆变器的主电路及控制拓扑结构图,如图 2 所示.

收稿日期:2014-08-06;修回日期:2014-10-08.

^{*} 基金项目:国家自然科学基金(61271377);安徽省科技计划项目(1206c0805006);安徽省高校自然科学基金重点项目(KJ2012A035).

作者简介:尹永昊(1989-),男,安徽马鞍山人,硕士研究生,从事智能仪表及控制装置研究.

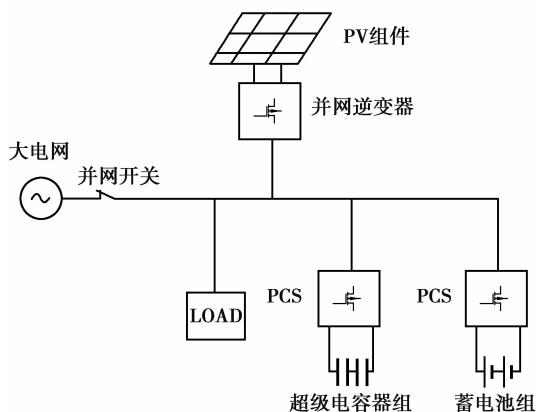


图 1 微电网系统典型主电路拓扑图

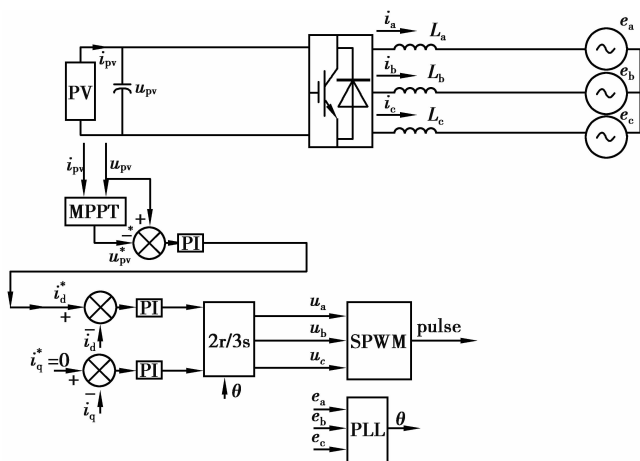


图 2 三相并网逆变器主电路及控制框图

由 MPPT 算法计算出最大功率点时的 PV 电压,然后控制系统使 PV 组件的电压维持在该电压处以保证系统能够输出最大功率(电压外环).并网电流经过 dq 坐标变换后变为 i_d 与 i_q 分量,图 2 中 i_d^* 即为有功功率轴的电流给定值, i_q^* 即为无功功率轴的电流给定值,改变 i_d^* 与 i_q^* 的值即可改变逆变器的输出有功功率与无功功率,而 i_d^* 由电压外环产生, i_q^* 人为给定. i_d 与 i_q 经 PI 调节器进行闭环调节后产生三相调制波,其作为 SPWM 调节的输入参数用以生成触发 IGBT 的脉冲信号,实现并网电流的快速跟踪,三相软件锁相环使并网电流与电网电压保持同频同相,逆变桥的输出经过交流侧 L 滤波器之后并至电网.三相软件锁相环的作用在于实时计算电网的当前相位,进行坐标变换以完成电流内环解耦.

1.3 能源控制系统(PCS)

PCS 与并网逆变器的主电路拓扑几乎是一样的.当 PCS 运行于并网逆变时,其运行原理与并网逆变器一样,但是其输入端更换为蓄电池/超级电容器(DC 源),能源控制系统的控制原理图如图 3 所示,其电流外环的给定值 i_q^* 不再由电压外环决定,而是人为给定,其余原理完全一致,不再赘述.

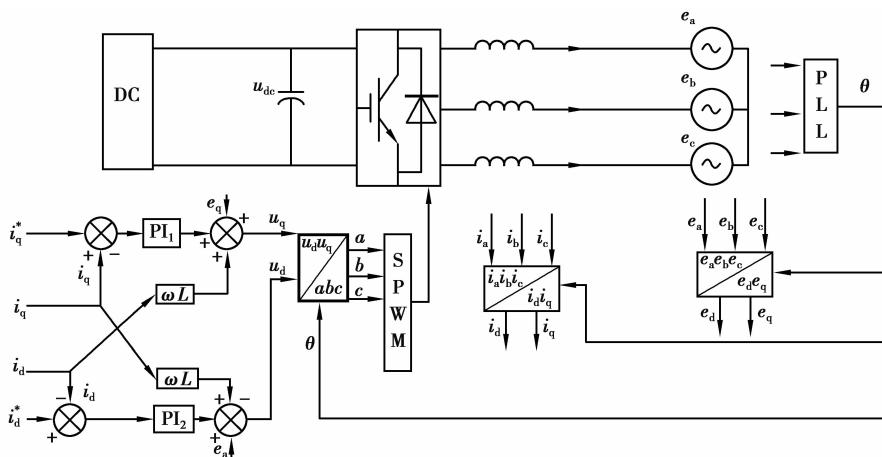


图 3 能源控制系统离网逆变运行时的控制原理

1.4 微电网系统中各分布式电源的容量配置原则

微电网系统中,各分布式电源的容量配置有一定原则,否则会造成电源过剩或者电源欠缺.

(1) 并网逆变器容量配置原则.并网逆变器容量应小于等于总负载容量,以接近负载容量为最佳,不可

过小,也不可过高,如果过高,多余的电能无法吸收,易造成系统崩溃.近年来研究结果表明,当并网逆变器容量大于负载总容量时,如果此时有 PCS 作为支撑源,并网逆变器的多余电能会馈入 PCS,使 PCS 处于“离网充电”状态,这种状态是不太稳定的,目前还没有真正有效的控制手段.

(2) PCS 容量配置原则.PCS 容量应设置负载总容量的 1.5 倍,但是蓄电池的容量需要按照系统能够承受 3 到 5 个阴雨天的容量来配置.虽然并网逆变器也可为负载提供电能,但是微网系统大部分时间是运行在夜晚的,此时并网逆变器无法工作,因此微网系统的大部分电能是由 PCS 提供的,所以 PCS 的容量配置需要考虑到连续阴雨天以及夜晚的工况.

2 仿真建模

2.1 光伏电池的数学模型

用于 Matlab 建模的光伏模块的数学模型^[11]为

$$I = I_{sc} \times \{1 - C_1 \times \{e^{\frac{u_{op}-du}{C_2 \times u_{oc}}} - 1\}\} + di \quad (1)$$

$$C_1 = \left\{1 - \frac{I_{max}}{I_{sc}}\right\} \times e^{\frac{u_{op}-du}{C_2 \times u_{oc}}} \quad (2)$$

$$C_2 = \left\{\frac{u_{max}}{u_{sc}} - 1\right\} \times \ln \left\{1 - \frac{I_{max}}{I_{sc}}\right\} \quad (3)$$

$$di = a \times \frac{R}{R_{ref}} \times dt = \left\{\frac{R}{R_{ref}} - 1\right\} \times I_{sc} \quad (4)$$

$$du = -b \times dt - R_s \times di \quad (5)$$

$$dt = T_c - T_{ref} \quad (6)$$

其中, R_{ref} , T_{ref} 分别为光伏电池的太阳辐射强度和温度参考值,一般取为 1 kW/m^2 , 25°C .在此参考条件下,各参数的含义如下: a ,电流变化温度系数, $\text{A}/^\circ\text{C}$; b ,电压变化温度系数, $\text{V}/^\circ\text{C}$; R_s ,光伏阵列的串联电阻,它受光伏组件的串并联数影响,一般只有几欧姆; I_{sc} ,短路电流, A ; u_{oc} ,开路电压, V ; I_{max} ,最大功率点电流, A ; u_{max} ,最大功率点电压, V ; u_{op} ,光伏模块的工作电压, V ; I ,光伏模块的工作电流, A ; T_c ,当前环境温度, $^\circ\text{C}$; R ,当前太阳辐射强度, kW/m^2 .

2.2 微电网模型及仿真设定

为了进一步研究微电网系统的机理,以 Matlab 为基础搭建出微电网仿真模型.整个系统由 1 台光伏并网逆变器、1 台 PCS1(带超级电容器)与 1 台 PCS2(带蓄电池组)以及负载和大电网组成.考虑到仿真各种试验的需要,各分布式电源的容量均以 10 kW 为上限.

工况设定系统:

- ① $0 \sim 0.1 \text{ s}$:大电网正常,并网逆变器处于并网发电状态,PCS1 与 PCS2 处于并网充电状态;
- ② $0.1 \sim 0.2 \text{ s}$:大电网断开,PCS1 处于离网逆变状态,PCS2 与并网逆变器并在 PCS1 进行并网发电;
- ③ $0.2 \text{ s} \sim$:大电网恢复正常,并网逆变器继续处于并网发电状态,PCS1 与 PCS2 继续处于并网充电状态.

2.3 仿真结果

① $0 \sim 0.1 \text{ s}$:大电网正常,并网逆变器发电(图 4,图 5),PCS1(带超级电容器)并网充电(图 6),PCS2(带蓄电池)并网充电(图 7);

② $0.1 \sim 0.2 \text{ s}$:大电网断开,PCS1 处于离网逆变状态作为整个系统的支撑电源(图 8),并网逆变器与 PCS2 在并网交流母线上并网发电(图 9,图 10);

③ $0.2\text{ s} \sim$: 大电网恢复正常, 并网逆变器继续处于并网发电状态, PCS1 与 PCS2 继续处于并网充电状态. 该种工况下, 各装置的运行状态与状态 1 是一致的, 故不再列出.

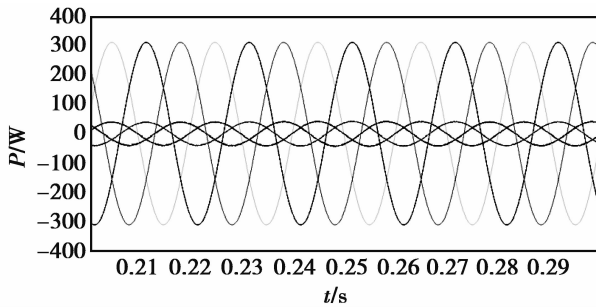


图 4 并网逆变器电压电流波形

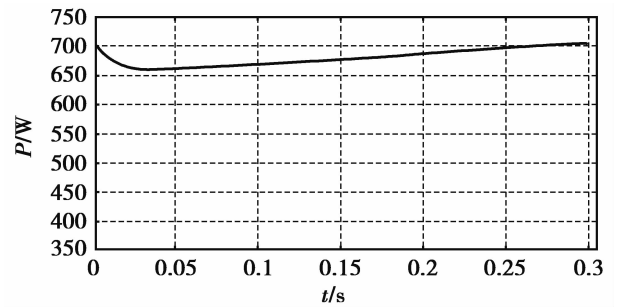


图 5 并网逆变器 MPPT(最大功率点跟踪波形)

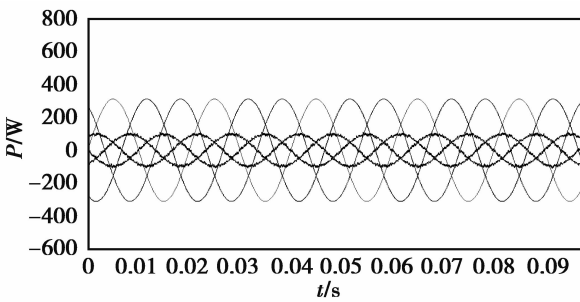


图 6 PCS1 并网充电时的电压电流波形
(整流, 电压与电流相位 180°)

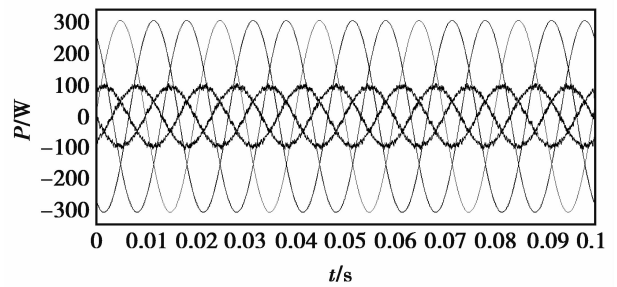


图 7 PCS2 并网充电时的电压电流波形
(整流, 电压与电流相位 180°)

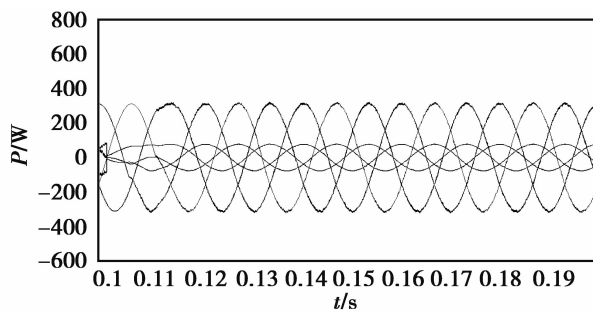


图 8 PCS1 电压电流波形(离网逆变)

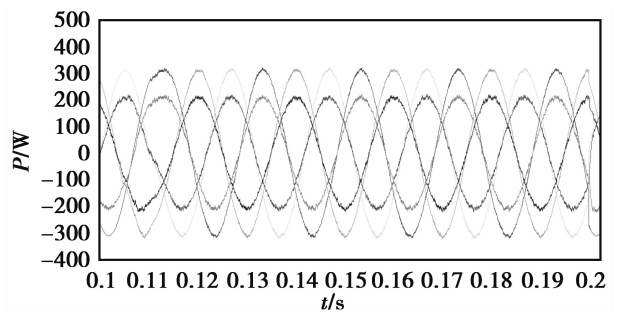


图 9 并网逆变器电压电流波形(并网发电)

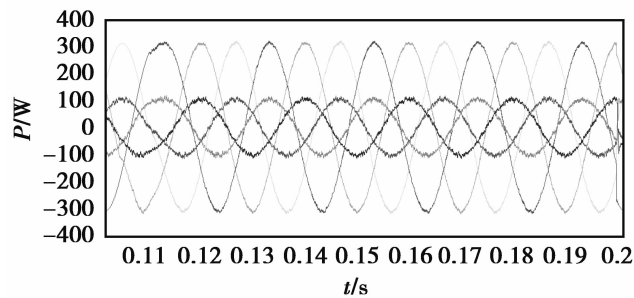


图 10 PCS2 电压电流波形(并网发电)

3 结 论

由仿真结果可知,微电网系统中,并网逆变器本身是一个电流源,其输出电流一直保持不变(温度与光照不变的情况下);PCS(能源控制系统)则是一种可以双向运行的换流器,既可以运行于并网逆变状态又可以运行于并网整流状态,无论是哪种状态,其输出电流值是需要人为给定的,而当其运行于离网逆变状态时,输出电流由负载决定。

微电网的优点就在于既可以充当大电网的负载,在大电网正常时给自身充电,又可以充当备用电源,在大电网断开时给负载继续供电.这充分说明了微电网系统的优越性与前沿性,给当前能源配给带来了新的解决方案。

参考文献:

- [1] 赵宏伟,吴涛涛.基于分布式电源的微网技术[J].电力系统及其自动化学报,2008,20(1):121-128
- [2] 王敏,丁明.含分布式电源的配电系统规划[J].电力系统及其自动化学报,2004,16(6):5-8;23
- [3] 王志群,朱守真,周双喜,等.分布式发电接入位置和注入容量限制的研究[J].电力系统及其自动化学报,2005,17(1):53-58
- [4] 黄伟,孙昶辉,吴子平,等.含分布式发电系统的微网技术研究综述[J].电网技术,2009,33(9):14-18
- [5] 丁明,张颖媛,茆美琴.微网研究中的关键技术[J].电网技术,2009,33(11):6-11
- [6] 郑漳华,艾芊.微电网的研究现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2008,32(16):27-31
- [7] 张建华,苏玲,陈勇,等.微网的能源管理及其控制策略[J].电网技术,2011,35(7):24-28
- [8] 周念成,闫立伟,王强钢.光伏发电在微电网中接入及动态特性研究[J].电力系统保护与控制,2010,38(14):120-127
- [9] 李振杰,袁越.智能微网:未来智能配电网新的组织形式[J].电力系统自动化,2009,33(17):42-48
- [10] 邱晓燕,夏莉丽,李兴源.智能电网建设中分布式电源的规划[J].电网技术,2010,34(4):7-10
- [11] BALTAS P. The Arizona University Photovoltaic Desinger Program (AUSPVD) [S]. Department of electrical and Computer Engineering, Arizona State University, 1996

Modeling and Simulation of Micro-grid Based on Hybrid Energy Storage

YING Yong-hao, JIANG Ming

(Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: Due to diverse types of distributed generation with different output characteristics, it's difficult to simulate the study on micro-power based on the micro-grid platform from the traditional model of a simple micro-power. To solve the problem above, this paper constructs micro-grid system with distributed generation of PV grid-connected inverter, PCS1 (with super capacitors) and PCS2 (with battery), and simulates its work process, which provides a good simulation platform for further research on micro-grid.

Key words: micro-grid; distributed generation; PV grid-connected inverter; energy control system