

双模式逆变器无缝切换控制策略的仿真分析

王晓明, 肖雯娟

(兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 风力发电中, 为了保证重要负载的不间断供电及电网故障时风电系统的及时脱网, 就需要使逆变器能够在离网与并网双模式下平滑切换。故分别设计了逆变器离网与并网模式的控制策略, 实现了离网运行时重要负载正常工作, 并网运行时单位功率因数并网。在此基础上以减少两种模式切换过程中的电压电流冲击为目标, 设计了两种模式的无缝切换方法, 最后通过仿真验证了设计的正确性和合理性。

关键词: 风力发电; 并网逆变器; 双模式; 无缝切换

[中图分类号] TM614 [文献标志码] A [文章编号] 1000-3886(2012)04-0031-03

Simulation Analysis of Seamless Transfer Control Strategy of Dual-mode Inverter

WANG Xiao-ming, XIAO Wen-juan

(College of Electronical and Information Engineering Lanzhou University of Technology Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: In wind power generation system, an important load must be provided uninterrupted power supply, and when the grid fault occurs, wind power generation system could take off the grid-net in time. So, the grid-connected inverter should implement seamless transfer between grid-connected mode and stand-alone mode. This paper designs and implements a stand-alone /grid-connect mode inverter. Based on analyzing the control strategy of stand-alone and grid-connect modes detailed, for the purpose to reduce the voltage and current impact of switching process, a seamless switch method is designed between both states. Meanwhile, this method was modeled and simulated in MATLAB/Simulink software, the simulation results verified its feasibility and correctness.

Keywords: Wind power generation; Grid-connected inverter; Double-mode; Seamless transfer

0 引言

风力发电作为一种健康环保的绿色发电方式, 以其独有的优势进入了人们的视野, 并在近几年内得到了迅猛的发展。而逆变器作为风能发电中的核心部件已成为研究的焦点。目前的逆变器大多为单功能逆变器, 只能够在离网模式和并网模式两种模式之一运行, 事实上, 在这两种工作模式之外, 还存在二者之间的过渡过程^[1, 2]。为了实现顺利并网及对重要负荷的不间断供电, 这两种模式间的平滑切换就显得尤为关键。

本文分别对逆变器并网和离网模式的控制方法进行了研究, 实现了离网模式下, 负载的正常运行及并网模式时的单位功率因数并网。在此基础上, 设计了两种模式的切换方法, 实现了二者之间的平滑过渡, 保证在切换过程中电压电流无较大突变。

1 逆变器数学模型

并网逆变器的主电路如图 1 所示, 它由三相电压型逆变器, LC 滤波器, 静态开关, 直流侧稳压电容组成, 其中由直流电压源 E_d 模拟可再生能源发电系统整流输出的直流侧电压, 交流电源 $e_{(a, b, c)}$ 模拟电网。为了能够控制逆变器同电网分离, 用双向可控硅开关作为静态开关 (STS)。实际的系统中还应该在逆变器与电网之间连接隔离变压器, 此处为了便于分析, 将其省略。

针对三相 VSR 一般数学模型的建立, 通常作以下假设^[2]:

(1) 电网电动势为 (e_a, e_b, e_c) 为三相平稳的纯正弦波电动势。

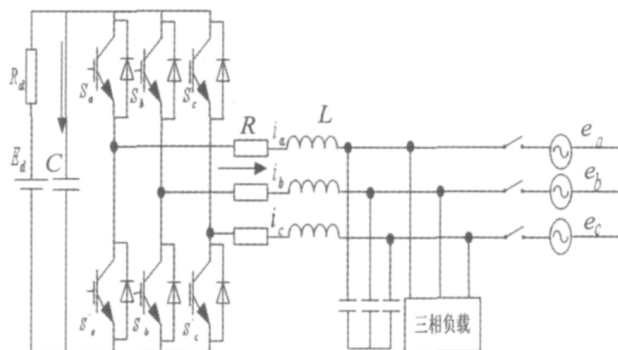


图 1 三相电压型逆变器拓扑结构

(2) 网侧滤波电感 L 是线性, 且不考虑饱和。

(3) 功率开关管损耗以电阻 R 表示, 即实际的功率开关管可由理想开关与损耗电阻 R 串联等效表示。

本文对逆变器并网模式与离网模式的控制方式均采用电压外环电流内环的控制方式, 二者均实现了有功与无功的解耦控制方式, 不同点是参考电压、电流的产生方式不同。

2 离网模式下的控制方法

当逆变器独立工作时需要使逆变器的输出电压能满足负载的电压要求^[3], 为此提出了一种基于电压电流双环控制的 SVPWM 三相逆变器, 通过建立其两相同步旋转坐标系下的数学模型, 利用电压外环实现对输出电压的稳定控制, 内环电流实现对输出电流的控制。该控制方式增加了一个电感电流内环控制, 使得系统的带宽增大, 反应速度加快, 系统抗干扰能力强, 调节时间

收稿日期: 2011-08-24

基金项目: 甘肃省科技支撑计划(2009GS03448)

短,谐波含量小,同时能有效地限制负载电流,起保护作用,更具优越性。离网模式下系统拓扑如图2所示。控制框图如图3所示。

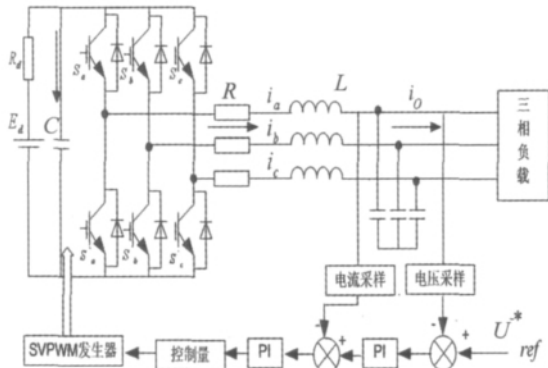


图2 离网模式下系统拓扑与控制结构

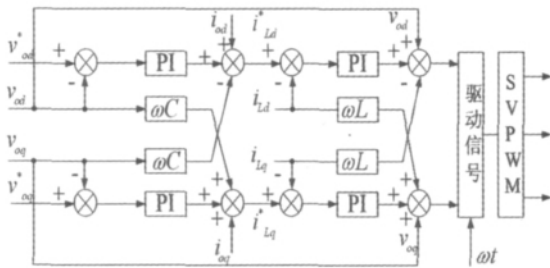


图3 离网模式下系统控制框图

3 并网运行时的控制方法

逆变器工作在并网模式下时,大电网可视为无穷大容量系统,此时逆变电源的输出频率和电压幅值则由大电网决定[4]。此时同样采用电压外环,电流内环的双闭环控制策略。外环给定为恒定的直流母线电压,反馈量为直流侧电容两端的实际电压,对误差进行调节后的输出作为并网参考电流的幅值,同时检测电网电压的频率、相位,并以此作为并网参考电流的参考频率与相位,再经过前馈补偿就得到了SVPWM的控制量。通过双闭环控制,即可保持直流母线电压恒定,又可保证输出电流与电网电压同步时的并网功率因数为1。并网模式下系统拓扑如图4所示。控制框图如图5所示。

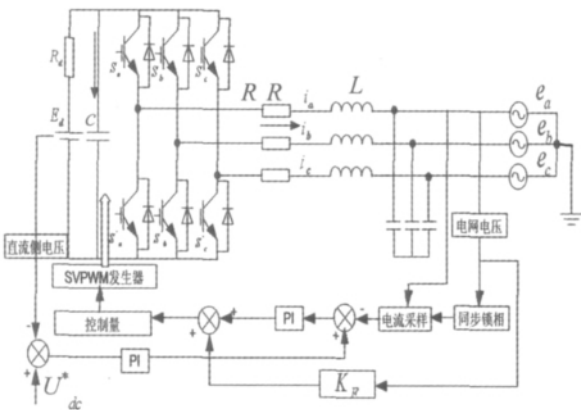


图4 并网模式下系统拓扑与控制结构

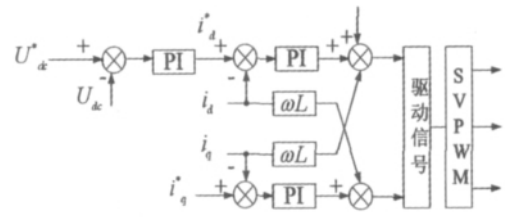


图5 并网模式下系统控制框图

4 两种模式的切换方法

要实现逆变器与电网间的平滑切换,需要在并网的主电路安装并网开关控制逆变电路与电网的连接和断开,同时控制部分也要有逻辑开关控制逆变器在离网运行模式和并网运行模式之间的切换。整个逆变系统的结构如图6所示。

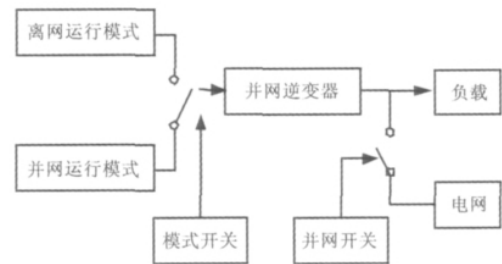


图6 逆变系统的结构图

4.1 独立模式向并网模式切换

当系统离网运行时,系统稳定在一个接近于但不同于正常电网的电压值,该输出可能与电网电压频率、幅值和相位存在一定的差别[5]。如果对输出电压不加以控制直接并网,即便很小的输出电压和电网电压差,尤其是相位差,加在极小的并网连接阻抗上也会产生很大的电流冲击,从而影响负载和电网的正常工作。因此,可将并网逻辑过程总结为以下几步:

- (1) 检测电网电压是否满足并网要求。
(2) 调整逆变器输出电压频率、幅值、相位与电网电压一致。
(3) 逆变器调整后,经逆变器切换为并网控制模式,同时闭合并网开关。
(4) 缓慢增大电流基准幅值至给定值同时调整输出电流与电网电压同频同相。

由上述分析可知,在并网时输出电流与电网电压始终保持一定的相位是必要的,因此必须使用锁相环来使输出基准不断跟踪电网电压的频率和相位。

4.2 并网模式向独立模式切换

当大电网突然出现故障或者人为需要切断微网时,微网应迅速改变控制策略,实现离网无缝切换。当电网发生故障时,应有检测装置检测电网电压的大小和频率的变化,并在某一时刻响应打开并网开关[6]。由于采用的是双向晶闸管静态开关,关断是过零关断的。停止给晶闸管触发信号后,当流向电网的电流为零时,晶闸管关断,同时将逆变器的控制方式转换到独立模式,此时负载上的电压基本保持不变。从新的一个周期开始,逆变器与电网断开,开始独立运行,完成脱网过程。因此,可将离网逻辑过程总结为以下几步:

- (1) 检测电网是否发生故障。
- (2) 将电感电流给定变为输出负载电流给定,同时关断并网开关。
- (3) 延时等待并网开关完全关断后,切换模式开关将逆变器切换为独立控制模式。

与并网前调整逆变器输出电压与电网电压相位一致相同,脱网前需要调整逆变器的输出电流和负载电流一致,待输出电流和负载电流同相后,即电网注入到负载上的电流为零时,再关断并网开关,这样就不会引起电压突变。

5 仿真验证及分析

为验证控制系统设计的正确性,在 MATLAB7.6/Simulink 中搭建仿真模型。具体参数为:直流侧母线电压指令值为 1 200 V,电网电压峰值为 690 V,开关频率为 2 kHz,直流侧电容为 6.8 mF,滤波电感为 3 mH,滤波电容为 1.2 mF。逆变桥用系统提供的通用桥(IGBT + DIODE),电网用三相对称电压源模拟。

图 7 为离网模式向并网模式过渡的波形。由于初始并网时开关并不闭合,负载上的电压为逆变器输出电压,所以此时电网电流为零,在电压过零点前,给静态开关触发信号,并将逆变器的控制模式转换为并网控制模式。过零点后,逆变器开始并网运行,负载上的电压为电网电压。输出电流值被控制为大于负载所需电流,多余部分送入电网。仿真时在 0.045 s 处给静态开关触发信号。

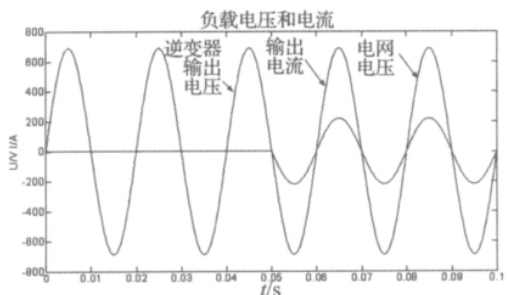


图 7 离网模式过渡到并网模式

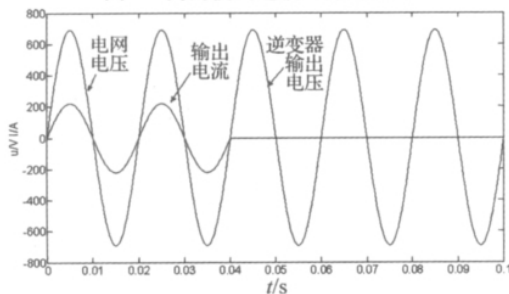


图 8 并网模式过渡到离网模式

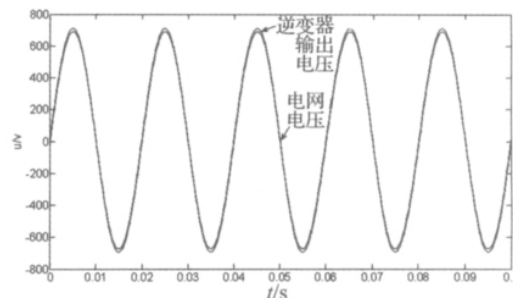


图 9 电网电压与逆变器输出电压同步过程

图 8 为并网模式向离网模式过渡的波形。开始时并网开关处于闭合状态,负载电压等于电网电压,逆变器向电网注入电流。当电网发生故障时,需将逆变器脱离电网,故在电压的过零点之前停止给静态开关触发信号,则开关在过零点处自然关断,同时在过零点时刻将逆变器从并网模式切换到离网模式,此时逆变器向电网注入的电流为零,逆变器开始独立运行,负载上的电压为逆变器输出电压。仿真中设定在 0.03 s 时,电网发生故障,停止给静态开关触发信号。

图 9 为两种模式过渡时,通过同步锁相,得到的电网电压与逆变器输出电压的同步波形。

6 结束语

针对逆变器离网与并网的模式要求,分别设计了两种模式的控制方法,并且提出了一种无缝切换方法,保证单位功率因数并网、重要负荷正常供电,及两种模式的平滑切换,最后通过仿真验证了控制策略的合理性。

参考文献:

- [1] 王赞,肖岚,姚志垒,等. 并网独立双模式控制高性能逆变器设计与实现[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(1): 61-64.
- [2] 杨美娟,郭海平,卓放. 微网系统中变换器无缝切换控制策略仿真研究[C]//中国电工技术学会电力电子学会. 第十二届学术年会论文集, 2010.
- [3] 林旭成,杨苹,吕茵. 基于 DSP 控制的双模式逆变系统的研究[J]. 电力电子技术, 2011, 45(2): 56-59.
- [4] 陈潼,赵荣祥. 并网逆变器间接电流解耦控制策略的研究[J]. 电力电子技术, 2006, 40(3): 8-11.
- [5] 顾和荣,杨子荣,邱伟扬. 并网逆变器输出电流滞环跟踪控制技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(9): 108-112.
- [6] 赵清林,郭小强,邱伟扬. 单相逆变器并网控制技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(16): 60-64.

【作者简介】王小明(1954-),男,甘肃民勤人,教授,主要研究领域为自动控制、计算机应用技术。肖雯娟(1987-),女,甘肃陇南人,硕士研究生,主要研究领域为风力发电并网关键技术。

保护环境

利国利民

造福后代