

三相电压源逆变器的高功率因数并网

设计三相电压源并网逆变器拓扑结构, 针对该拓扑结构, 在两相旋转坐标系下建立其数学模型, 相对于三相静止坐标系下建模而言, 两相旋转坐标系下建模可减少控制变量, 使整个系统的控制过程得到简化。最后, 采用直流电压外环和并网电流内环双闭环的控制策略实现其有效并网, 仿真验证并网后系统具有较好的稳定性及动态性能。

胡世春 李彦哲/兰州交通大学自动化与电气工程学院
姜伟基/内蒙古电力集团阿拉善电业局



胡世春/硕士研究生

关键词/Keywords

并网逆变器 ·
建模 ·
电压电流双闭环 ·
仿真 ·

近年来, 传统发电模式对环境的严重破坏以及全世界范围内能源的短缺, 促使清洁和可再生能源的兴起。风力发电已经在我国和世界上很多国家都得到了迅猛发展^[1-2]。目前, 并网风电是发展最快、技术最成熟的可再生能源发电形式^[3-4]。并网风电的目的是实现单位功率因数并网, 因此并网控制策略的研究也随之成为研究的热点^[5-6]。

采用L型滤波器, 首先在两相旋转坐标系下建立三相并网逆变器数学模型^[7-8]。其次采用直流电压外环和并网电流内环的控制策略实现其有效并网。而在两环控制器上均采用PI调节器实现直流量的无静差控制, 确保系统具有较好性能的同时也使系统拥有一定的鲁棒性^[9-10]。仿真结果表明, 针对并网逆变器, 采用该控制策略能达到单位功率因数并网的目的。

逆变器数学模型及控制策略

三相电压源逆变器的拓扑结构如图1所示。 U_{dc} 为直流侧电压。

国家留学人员科技活动择优资助项目 (25200604)。

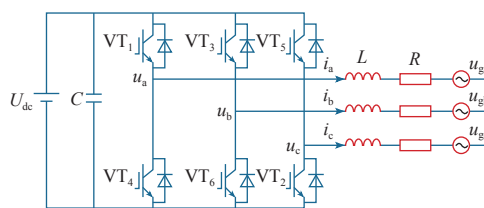


图1 三相电压源逆变器拓扑结构

根据该拓扑结构建立三相并网逆变器数学模型, 则有

$$\begin{cases} u_a = L \frac{di_a}{dt} + Ri_a + u_{ga} \\ u_b = L \frac{di_b}{dt} + Ri_b + u_{gb} \\ u_c = L \frac{di_c}{dt} + Ri_c + u_{gc} \end{cases} \quad (1)$$

式中, u_a 、 u_b 和 u_c 为逆变器侧三相电压; u_{ga} 、 u_{gb} 和 u_{gc} 为电网侧三相电压; i_a 、 i_b 和 i_c 为逆变器侧三相电流; L 为滤波电感; R 为滤波电感内阻。

为简化模型、减少控制变量, 将式(1)中三相静止坐标系下的变量变换到两相旋转坐标系下, 可得

$$\begin{cases} u_d = L \frac{di_d}{dt} + Ri_d - \omega Li_q + u_{gd} \\ u_q = L \frac{di_q}{dt} + Ri_q + \omega Li_d + u_{gq} \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可以看出, 在两相旋转坐标系下两轴电流发生耦合, 因此首先进行解耦处理, 令

$$\begin{cases} v_d = L \frac{di_d}{dt} + Ri_d \\ v_q = L \frac{di_q}{dt} + Ri_q \end{cases} \quad (3)$$

以 v_d 、 v_q 为等效控制变量, 则可实现

两相旋转坐标系下两轴电流完全解耦,再通过引入PI调节器,可以实现两轴电流快速无误差跟踪。

当引入PI调节器后,则有

$$\begin{cases} v_d = k_{ip}(i_d^* - i_d) + k_{il} \int (i_d^* - i_d) dt \\ v_q = k_{ip}(i_q^* - i_q) + k_{il} \int (i_q^* - i_q) dt \end{cases} \quad (4)$$

式中, k_{ip} 、 k_{il} 分别为PI调节器的比例、积分系数; i_d^* 、 i_q^* 分别为并网电流指令值。

根据式(2)~式(4)可得

$$\begin{cases} V_d^* = v_d - \omega L i_q + u_{gd} \\ V_q^* = v_q + \omega L i_d + u_{gq} \end{cases} \quad (5)$$

对于电压外环,其主要作用是确保输入电压稳定。

三相电压源型逆变器并网控制原理图如图2所示。

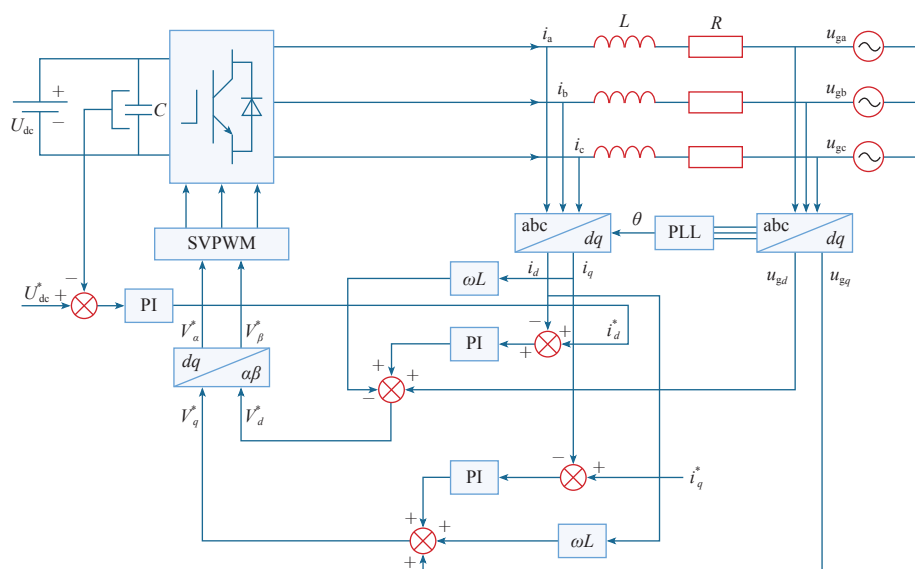


图2 三相电压源型逆变器并网控制原理图

结果分析

使用Matlab/Simulink构建了L型三相电压源型逆变器的仿真模型。仿真参数如下,电网侧:相电压有效值为220 V,频率为50 Hz;直流侧:直流母线电压给定值为480 V,开关频率为11 kHz。

采用上文所述控制策略时,三相电压源型逆变器的并网电流的波形如图3所示,并网电流的幅值为60 A。

图4为三相电压源型逆变器的并网电压和并网电流波形。由图4可以看出,并网后逆变器的网侧电流与电压相位几乎一致,功率因数接近于1,可以近似实现高功率因数并网的要求。

当 $t=0.05$ s时,三相电压源型逆变器交流侧负载从满载突变为半载,此时系统的动态响应波形图如图5所示。

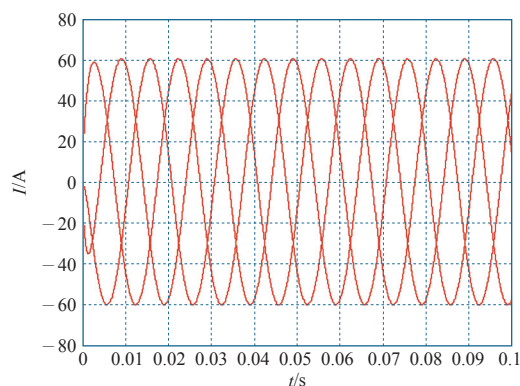


图3 L型并网逆变器并网电流

当 $t=0.05$ s时,并网逆变器交流侧负载从半载变为满载,此时系统的动态响应波形图如图6所示。

由图5、图6可知,无论三相电压源型并网逆变器的负载如何变化,即从满载变为半载或者是从半载变为满载。该系统始终可以保持高功率因

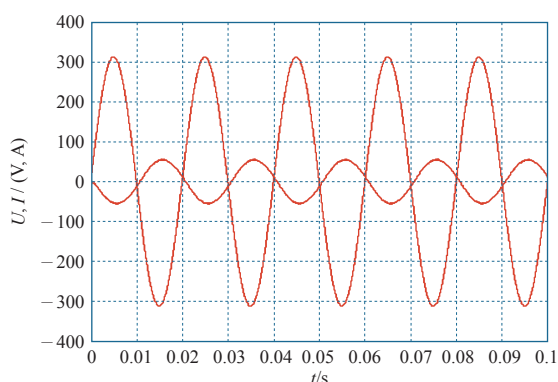


图4 L型并网逆变器电压与电流波形

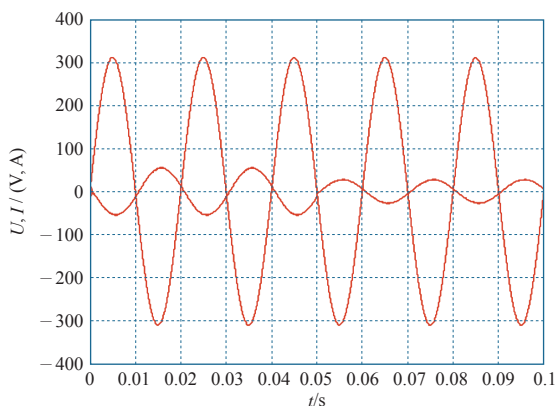


图5 L型并网逆变器电压与电流波形（由满载变为半载）

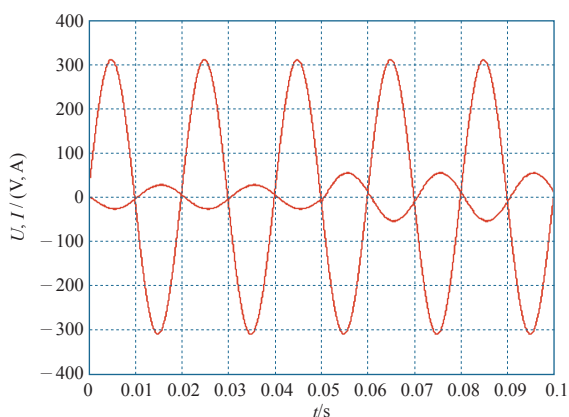


图6 L型并网逆变器电压与电流波形（由半载变为满载）

数运行，其动态响应能力稳定良好。

结束语

在两相旋转坐标系下建立三相L型电压源型逆变器的数学模型。在实现其入网控制方案上采用

直流电压外环和并网电流内环的控制策略。通过仿真表明，在该控制策略的作用下，系统在保证具有一定鲁棒性的同时也具有优良的动态响应能力，同时可以实现单位功率因数并网。

参考文献

- [1] 张新房, 徐大平, 柳亦兵, 等. 风力发电技术的发展及相关控制问题综述 [J]. 华北电力技术, 2005 (5): 42-45.
- [2] 迟永宁, 李群英, 李琰, 等. 大规模风电并网引起的电力系统运行与稳定问题及对策 [J]. 电力设备, 2008, 11 (9): 16-19.
- [2] 王勇, 张纯江, 柴秀慧. 变速恒频风力发电机空载并网控制策略 [J]. 电网技术, 2011, 35 (9): 139-143.
- [4] 汪万伟, 陈寿平, 张建华. 运用于新能源并网的变流器控制策略研究 [J]. 电源技术, 2015 (2): 376-378.
- [5] 张兴, 张崇巍. PWM整流器及其控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [6] 刘飞, 秦亮, 孙建军, 等. 三相并网逆变器的双环控制策略研究 [J]. 变频器世界, 2009 (11): 53-59.
- [7] 秦静, 李世光, 蒋正友. 三相电压型PWM整流器的解耦与控制研究 [J]. 电气传动, 2011, 41 (4): 22-27.
- [8] 许德志, 汪飞, 阮毅, 等. 并网接口滤波器拓扑结构推演与分析 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (4): 15-25.
- [9] 杨志强, 宋平岗. 基于Matlab的单周期控制三相高功率因数并网逆变器的建模与仿真 [J]. 大功率变流技术, 2009 (2): 18-21.
- [10] 吴浩伟, 段善旭, 徐正喜. 一种新颖的电压控制型逆变器并网控制方案 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (33): 19-28.

(收稿日期: 2015-07-27) **EA**