

基于 DSP 的单相光伏并网控制系统的设计

田绍据, 谢 华

(电子科技大学, 四川 成都 610054)

摘要:提出一种基于改进型重复控制和传统 PI 控制的光伏并网复合控制策略,重复控制器用来减小并网电流的稳态误差,传统 PI 控制用来提高系统的动态性能。为验证提出的算法,搭建了基于 TMS320F2812 的单相光伏并网逆变器系统实验模型。实验结果表明,提出的算法能够减少并网电流谐波,同时系统兼顾了良好的动静态性能。

关键词:太阳能发电; 逆变器 / 光伏; 重复控制; PI 控制

中图分类号: TM615; TM464

文献标识码: A

文章编号: 1000-100X(2009)02-0010-02

Design of Photovoltaic Grid-connected Control System based on DSP

TIAN Shao-ju, XIE Hua

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A synthesized control scheme combined an improved repetitive control with PI control for single grid-connected inverter is introduced. Repetitive control is used to reduce steady-state grid-connected current wave distortion and PI control can improve the dynamic performance of the system. Simulation and experimental prototype for a single-phase grid-connected inverter controlled by TMS320F2812 are presented to verify the performance of the proposed control approach. The results prove that the harmonics in the inverter's output current can be effectively eliminated as well as the system can achieve good steady-state and dynamic performance with the synthesized control approach.

Keywords: solar energy generation; inverter / photovoltaic; repetitive control; PI control

1 引言

世界范围内的能源短缺和环境污染已成为制约人类社会可持续发展的两大重要因素,大力发展新的可替代能源已成为当务之急。太阳能发电作为一种新的电能生产方式,以其无污染、安全、资源丰富,分布广泛等特点显示出广阔的发展空间和应用前景。随着光伏并网发电设备的增加,并网电流谐波带来的电网污染问题越来越受到重视。为改善并网输出电流波形,采用了重复控制来抑制周期性干扰^[1],但重复控制响应速度慢,使控制系统稳定性变差。为此,提出一种将重复控制和传统 PI 相结合的控制方法,PI 控制可使系统具有良好的动态性能,重复控制用来抑制周期性干扰,提高跟踪精度。

2 并网逆变器结构

图 1 示出单相并网逆变器的主体结构。系统采用两级结构,前级 DC/DC 为 Boost 电路,后级为半桥逆变和电感滤波电路。

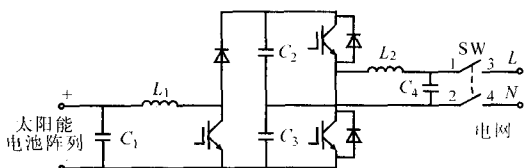


图 1 单相并网逆变器结构

3 控制系统设计

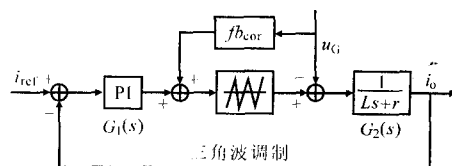
3.1 传统 PI 控制器设计

取图 1 中输出电感 L_2 电流为状态变量,则输出的并网电流为:

$$I_o(s) = \frac{u_{inv}U(s) - U_G(s)}{L_2s + r} \quad (1)$$

式中: u_{inv} 为逆变器输出电压; u_G 为电网电压; L_2 为输出滤波电感值; r 为电感等效内阻。

基于传统 PI 控制的系统框图如图 2 所示。



i_{ref} 为参考正弦电流; fb_{cor} 为前馈系数

图 2 传统 PI 控制并网框图

在设计控制系统时,可通过提高系统的型别或增加开环增益来减少或消除稳态误差,但却会影响系统的稳定性,降低系统的动态性能。也可以通过限制系统带宽来抑制高频扰动,但对抑制低频干扰却作用不大。而前馈控制并不改变反馈系统的特性,只要参数选择得当,可以对可测量误差进行完全补偿^[2]。但在实际应用中,由于信号采样精度及处理的延迟,不可能做到全补偿,严重的时候可能给系统带来新的误差,因此必须对信号延迟进行补偿。

虽然带电网电压前馈的传统 PI 控制器对可测的电网扰动有很好的补偿作用,系统有足够的动态

定稿日期: 2008-10-06

作者简介: 田绍据(1982-),男,湖北恩施人,硕士研究生,研究方向为光伏发电及数字控制技术。

响应。但系统仍然有静态误差,为了实现无静差跟踪,必须改进系统的控制结构。

3.2 重复控制+PI 复合控制器设计

逆变器系统中存在电流过零点断续、开关死区、驱动信号不对称等周期扰动的影响,会导致逆变器输出的并网电流波形畸变,给电网带来谐波污染。基于内模原理重复控制的基本思想是假定上一周期的基波将会在下一周期的同一时间重复出现,这样就可根据本周期给定信号和反馈信号的误差确定所需的校正信号,并将上周期同一基波时间的误差叠加到校正信号上,这样不仅能实现信号的无误差跟踪还能消除重复出现的畸变^[3]。这种控制技术对消除周期扰动的影响具有很好的静态控制性能,同时也易于数字实现。但在重复控制中,误差是在下一个周期中得到控制的,这就影响了系统的动态性能。根据这两种控制的优缺点,将重复控制叠加到 PI 控制器上,设计出了一种新的复合控制方法。

由内模原理可知,在一个稳定系统中包含参考信号的模型,因此输出能够无差地跟踪这个参考信号。在实际系统中,扰动是多种多样的,若要对所有扰动进行无差跟踪,则要设置很多这样的模型,使系统变得很复杂,不易实现。传统的重复控制器内模如图 3a 所示^[4]。鉴于在并网逆变系统中,死区等因素在一个基波周期重复出现,并且为了提高重复控制器的响应速度,对图 3a 所示的内模做了修改,改进的内模如图 3b 所示。

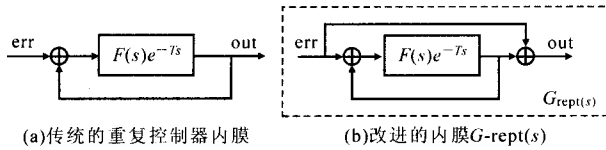


图 3 传统和改进重复控制器内模

滤波函数 $F(s)$ 通常为低通滤波器或者小于 1 的常数, T 为重复控制周期。将图 3b 所示内模嵌入到图 2 所示的传统 PI 控制器中便可得到新的复合控制方法,如图 4 所示。

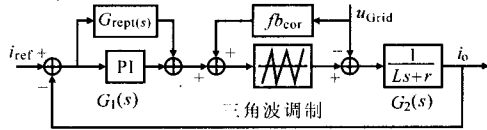


图 4 复合控制框图

基于上述原理,设计了 Matlab 仿真模型,图 5 示出 Simulink/matlab 7.0 复合控制仿真结果,由图

可见系统功率因数为 1,波形也明显得到了改善。

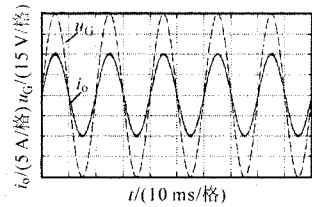


图 5 复合控制仿真结果

4 实验结果

设计了一台 5 kW 单相并网逆变器,其电路拓扑如图 1 所示。图 6a 示出传统 PI 控制下的 i_o 和 u_G 波形, i_o 在过零处有振荡并有相移,这是由于死区效应引起的失真和 PI 控制开环增益不能太大所导致。图 6b 示出重复和 PI 复合控制下的 i_o 和 u_G 波形,可见 i_o 失真明显减小,功率因数也得到了提高。

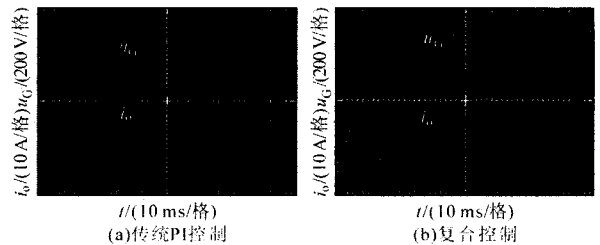


图 6 试验波形

5 结论

提出重复控制和 PI 控制相结合的复合控制策略,通过实验验证其有效性。重复控制用来抑制死区等周期性干扰,和提高系统的稳态性能,传统 PI 控制用来提高系统的动态性能。两者相互补充,可使输出并网电流具有低的谐波失真和高的功率因数,为光伏并网发电系统提出了一种高性价比的控制策略。

参考文献

- [1] 马兆彪,惠晶,潘建.基于重复 PI 控制的光伏并网逆变器的研究[J].电力电子技术,2008,42(3):25-27.
- [2] 冯巧玲.自动控制原理[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [3] Hidehiko Sugimoto, Keiu Kawasaki, Akira Horiuchi. Suppressive Control of the Resonance Current between PV System and the Power System[J]. IEEE Trans. on Power Conversion Conference, 2002, 2(4):833-838.
- [4] K Zhou, D Wang, K S. Periodic Errors Elimination in CVCF PWM DC/AC Converter Systems: Repetitive Control Approach [J]. IEE Trans. on Control Theory and Applications, 2000, 147(6):694-700.

本刊声明

本刊已加入“中国学术期刊(光盘版)”、“中国期刊网”、“万方数据系统科技期刊群”等数据库,本刊付给论文作者的稿酬中已包括上述数据库的稿酬,如作者不同意将文章纳入上述数据库,请来函声明。