

文章编号: 1005-0523(2007)02-0066-04

基于改进型预测电流控制方法的研究

何鑫, 宋平岗, 陈彬

(华东交通大学 电气工程学院, 江西南昌 330013)

摘要:介绍了预测控制的特点以及基本原理, 针对传统的电流预测控制方法中的不足, 提出了一种新的电流预测控制方法, 采用单相空间拾量脉宽调制方法实现(SVPWM)·并用电力电子专业仿真软件 PSIM 6.0 对其仿真, 结果表明该控制方法具有良好的控制性能.

关键词:PWM 变流器; 预测控制; SVPWM

中图分类号:TP273

文献标识码:A

1 引言

常规能源以煤、天然气为主, 它不仅资源有限, 而且造成了严重的大气污染. 能源、环境也就成为当今人类生存和发展所要解决的紧迫问题. 新能源和可再生能源的开发和利用, 特别是针对风能的开发已经受到世界各国的高度重视. 由于可再生能源的分布式发电系统具有不稳定性, 因此如何使动态的分布式发电系统达到稳定也是目前研究的主要问题. 本文针对风力发电系统中的逆变器提出了一种新的电流预测控制的 SVPWM 控制策略, 并传统的电流预测控制方法进行了具体的分析和比较, 通过仿真研究表明该控制方法具有良好的控制性能.

2 系统原理

2.1 预测控制的基本原理^[1]

预测控制的基本原理可以用图 1 说明

上图中 y 表示设定值, 代表输出的期望值序列. $k=0$ 表示当前的采样时刻, 0 时刻左边为过去的输出量与控制量. $y_m(k)$ ($k=1, 2, \dots, p$) 是未来 P 个时刻的预测输出值. 预测算法就是按照预测输出 $y_m(k)$ 与期望输出 $y(k)$ 之间的误差 $e(k)$ 来计算当

前及未来 L 个时刻的控制量 $u(k)$ ($k=1, 2, \dots, L-1$), 使 $e(k)$ 达到最小. 这里的 P 称为预测步数, L 为控制步数.

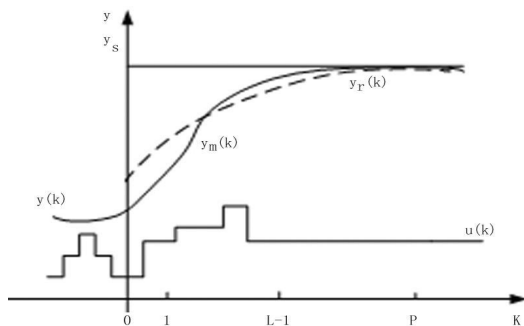


图 1 预测控制原理图

2.2 电流预测直接控制原理

基于数字控制的 VSI 逆变器, 因采样周期及 PWM 控制延时的存在, 使得 VSI 电流控制存在滞后, 这将影响电流跟踪控制的动态性能, 其电流控制的最小延时至少需要一个 PWM 开关周期, 而预测电流的思想就是在 n 个采样时刻根据所检测到得负载电流及补偿器输出电流, 根据所建立的数学模型以及下一开关周期 $n+1$ 时刻的期望电流, 计算出符合电流变化的输出电压矢量, 然后在 PWM 中运用空间矢量法合成这一输出电压矢量, 从而迫使下一次采样时刻的实际电流以最优特性跟踪下一个

时刻参考电流, 达到电流跟踪的目的^[2].

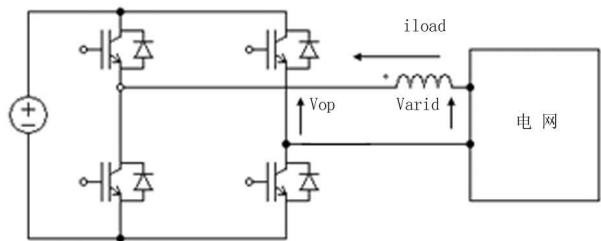


图 2 电网连接的逆变器模型

图 2 为单相逆变器与电网连接的模型, 负载上的电流 i_{load} 可由以下公式得到

$$V_{op} = V_{grid} + L \frac{di_{load}}{dt} \quad (1)$$

其中 V_{grid} 是电网电压, V_{op} 为逆变器输出电压考虑到

逆变器工作在恒定频率下, 所以它的开关周期也为恒定的值. 在开关周期 $[n, n+1]$, 方程(1)可以写成离散形式, 如方程(2)所示:

$$V_{op-\omega} = V_{grid-\omega} + L \frac{I_{load}[n+1] - I_{load}[n]}{T_{period}} \quad (2)$$

其中 T_{period} 是开关周期, $V_{op-\omega}$ 和 $V_{grid-\omega}$ 分别为平均逆变器输出电压和平均电网电压, $I_{load}[n+1]$ 和 $I_{load}[n]$ 分别是在采样点 $[n+1]$ 和 $[n]$ 时刻的采样电流. 根据电流预测原理, 预测控制器需要预 $I_{load}[n]$ 和 $V_{grid}[n]$ 来计算逆变器输出电压矢量 $V_{op-\omega}[n]$, 因此预测控制算法可由方程(3)得出:

$$V_{op-\omega} = 4V_{grid}[n] - 2V_{grid}[n-2] - V_{op-\omega}[n-1] + L \frac{I_{ref}[n+1] - I_{load}[n]}{T_{period}} \quad (3)$$

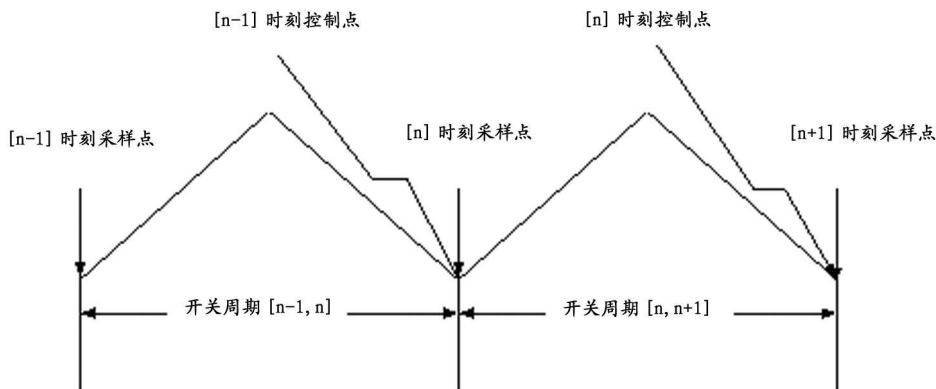


图 3 传统预测电流控制器的时间控制图

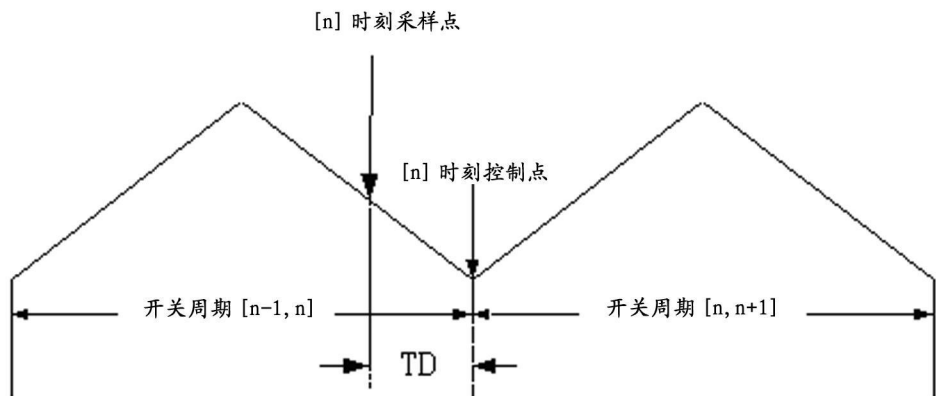


图 4 改进型预测电流控制器的时间控制图

通过实验表明这种传统的电流预测控制方法在参数变化的条件下工作性能不太稳定, 由于误差引起的输出电流不稳定, 因而本文提出了一种改进型电流预测控制方法, 该方法与传统电流预测控制方法的不同之处在于采样电流点在控制点前一个周期时间 TD 内^[4], 如图 4 所示, 由于采样和控制时间

间隔比较短, 我们可以把采样点 n 时刻的采样电网电压和逆变器输出电流值等同于在 n 时刻控制点时的值. 所以我们需要通过检测 $I_{load}[n]$ 和 $V_{grid}[n]$ 来预测逆变器的输出电压.

根据改进后的电流预测算法可得到:

$$V_{op-\omega} = 1.5V_{grid}[n] - 0.5V_{grid}[n-1]$$

$$+L \frac{I_{ref}[n+1] - I_{load}[n]}{T_{period}} \quad (4)$$

3 单相 SVPWM 控制策略^[5-8]

根据上述原理计算出所需要的电压矢量,再用单相空间矢量 PWM 控制方法(SVPWM)得到所需要的电压矢量,如图 5 所示:

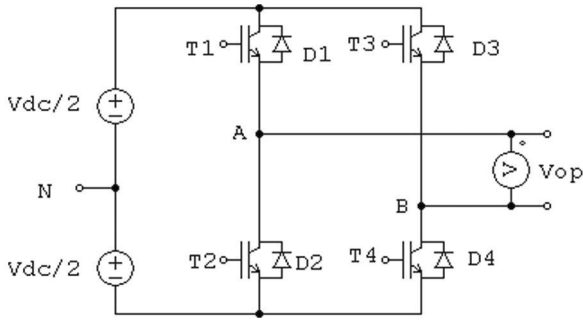


图 5 单相桥逆变器

当逆变器工作在正半周期时,可分成两种模式

模式 1:T1,T4 导通;T2,T3 关断 $V_{op} = V_{dc}$

模式 2:T1,D3 导通;T2,T3,T4 关断 $V_{op} = 0$

当逆变器工作在负半周期时,可分成两种模式

模式 3:T2,T3 导通;T1,T4 关断 $V_{op} = V_{dc}$

模式 4:T2,D4 导通;T1,T3,T4 关断 $V_{op} = 0$

每个桥臂对直流电压参考点 N 的输出电压矢量 V_{an}, V_{bn} 均有两种电压值,即 $V_{dc}, 0$,因此单相桥逆变器交流侧输出电压矢量为

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} \quad (5)$$

若引入单极性二值逻辑开关函数

$$S_j = \begin{cases} 1 & \text{上侧管导通} \\ 0 & \text{下侧管导通} \end{cases} \quad (j = a, b)$$

则将单相桥逆变器开关函数组合对应的电压状态列入表 1 中

表 1 两桥臂开关函数及电压组合

S_a	S_b	V_{an}	V_{bn}	V_{ab}	V_k
0	0	0	0	0	V_0
0	1	0	V_{dc}	$-V_{dc}$	V_2
1	0	V_{dc}	0	$+V_{dc}$	V_1
1	1	V_{dc}	V_{dc}	0	V_3

由表 1 可得输出逆变器电压有 3 种值: $V_{op}(1\ 0) = V_{dc}, V_{op}(0\ 1) = -V_{dc}, V_{op}(1\ 1) = V_{op}(0\ 0) = 0$,其中有 2 个非零矢量,2 个零矢量.对于任一给定的空间电压矢量,均可以由相邻的两空间矢量合成得到.

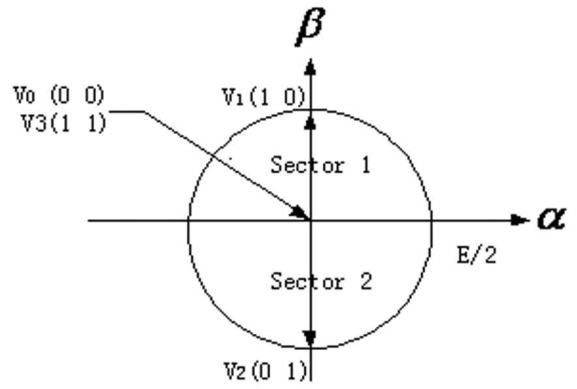


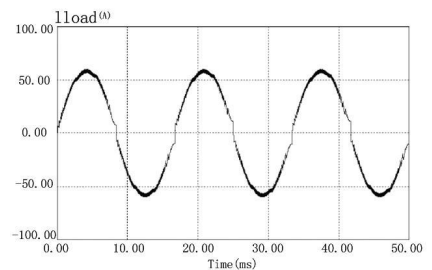
图 6 单相两桥臂空间矢量分布图

4 仿真研究

为了验证改进型电流预测方法的可行性,本文采用电力电子专业软件 PSIM 6.0 对逆变器进行了仿真研究.图 7~图 9 给出了用三种不同的控制方法的仿真结果.通过对三种电流波形的测量,并计算出它们的谐波含量(Total Harmonic Distortion, 简称 THD),THD 的计算公式为

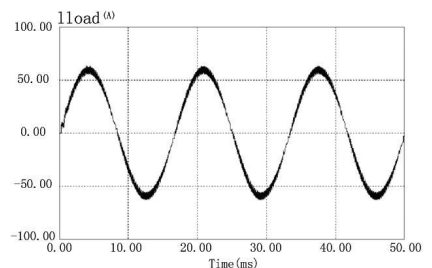
$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 - I_{a1}^2}}{I_{a1}} \quad (7)$$

其中 I_{a1} 为电流基波有效值, I_a 为线电流

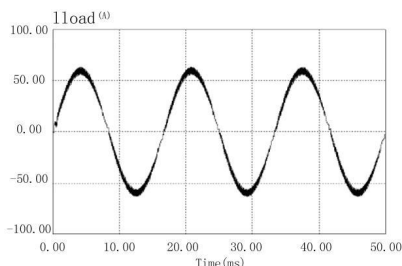


(a) 滞环控制的逆变器输出电流波形

通过计算得到:采用滞环控制,传统型电流预测控制和改进型电流预测控制技术的 THD 分别为 6.9%, 2.7% 和 1.6%.由 THD 计算值可见采用改进型电流预测控制技术产生的 THD 最低.



(b) 传统的电流预测控制的逆变器输出电流波形



(c)改进型电流预测控制的逆变器输出电流波形

图7 三种不同控制方法输出电流波形

5 结论

本文针对目前已有的传统电流预测控制方法的不足,提出了一种新的电流预测控制方法,并且对其进行了仿真研究,结果表明该方法的暂态调节时间和超调量都比传统控制方法小,并且电流跟踪快速性好,输出电压谐波也小,这种新的控制方法使分布式发电中的输出电能质量得到提高,是一种很好的直接电流控制方式。

参考文献:

- [1]席裕庚.预测控制[M].北京:国防工业出版社,1993.
- [2]徐丽华,郭世明.基于电流预测的SVPWM控制的研究[J].电源技术与设计,2005,(6):22-24.
- [3]Marian P. Kazmierkowski. Current Control Techniques For Three-Phase Voltage-Source PWM Converters [J]. IEEE Trans Industrial Electronics, 2003, 11(2):44-47
- [4]Bimal K. Bose, An Adaptive Hysteresis-Band Current Control Technique of A Voltage-fed PWM Inverter for Machine Drive System[J]. IEEE Trans Industrial Electronics, 1990, 37(10)
- [5]张崇巍,张兴.PWM整流器及其控制[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [6]Qunying Yao and D. G Holmes, "A Simple, Novel Method for Variable-Hysteresis-Band Current Control of Three Phase Inverter with Constant Switching Frequency," [J] Conf. Rec. IEEE Industry Applications Meeting, 1993, (10): 1122-1129
- [7]H. Dehbonei, L. Borie and C. V. Nayar, "A Review and a Proposal for Optimal Harmonic Mitigation in Single-Phase Pulse Width Modulation [J]. IEEE Trans Industrial Electronics, 2001, 27(5), 1101-1107
- [8]林渭勋.现代电力电子电路[M].杭州:浙江大学出版社,2000.

Research on Improved Predictive Current Controlled PWM for Single-Phase Wind Inverter

HE Xin, SONG Ping-gang, CHEN Bin

(School of Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper introduces the characteristics and basic principle of predictive control. Considering the weakness of the traditional predictive control method, this paper proposes a new algorithm of predictive control, which is realized by single-phase SVPWM. The result of simulation with PSIM 6.0 package testifies that the algorithm proposed is with excellent control performance.

Key words: PWM inverter; predictive control; SVPWM