

文章编号:1005-0523(2009)06-0048-04

一种新颖滞环 PWM 控制技术的仿真研究

李 宋

(华东交通大学 电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:随着电力电子技术的发展,变流器及其控制策略在交流传动领域得到了广泛应用。对电压型逆变器来说,电流滞环跟踪 PWM 控制是一种实现简单、运行可靠的控制技术,但传统的电流滞环控制,负载电流在开关频率频带上的谐波失真较大,通过采用一种随机带宽滞环控制的方法,可以扩展负载电流在开关频率旁频带附近的带宽,减小负载电流的谐波失真。仿真结果验证了该方法的正确性和可行性。

关键词:随机带宽;电流滞环;计算机仿真
中图分类号:TM464 **文献标识码:**A

对于电压型逆变器 PWM 调制技术而言,常用的方法主要有:正弦脉宽调制技术(Sinusoidal Pulse Width Modulation, SPWM)、特殊谐波消除调制技术(Selected Harmonic Elimination PWM, SHEPWM)、空间电压矢量调制技术(Space Vector PWM, SVPWM)和电流滞环跟踪控制技术(Current Hysteresis Band PWM, CHBPWM)。这几种方法各有优缺点^[1]:SPWM 调制技术具有控制简单、易实现等优点,但控制效果一般,输出电压的 THD 较大。SHEPWM 可以在较低的开关频率下得到品质较好的电压波形,但是该方法需要求解超越方程组,而且所需要消除的谐波数越多,超越方程组越复杂,因此该方法只适用于离线计算、在线查表的控制,不能实现实时计算、实时控制。SVPWM 技术具有高电压利用率、谐波含量低等优点,但是该方法在合成电压空间矢量时比较复杂。CHBPWM 是通过对逆变器电流实行闭环控制,使逆变器输出电流尽可能接近于正弦,这使得电机电磁转矩近似恒定,因此可以减少噪声和机械振动,但是对于传统的电流滞环控制技术而言,它在开关频率旁频带周围基本上是没有频谱分布的。而且负载电流在开关频率频带上的谐波失真(Total Harmonics Distortion, THD)比较大。

采用一种新颖的随机带宽滞环电流 PWM 控制技术(Random Band Hysteresis Current, RBHC),可以扩展负载电流的频谱,而且还可以减小负载电流的 THD。对 RBHCPWM 原理进行了详细分析,并且与传统的 CHBPWM 进行了比较,仿真结果证明了 RBHCPWM 技术是可行的。

1 传统的电流滞环跟踪控制原理

传统的 CHBPWM 技术一般只适用与带阻感性负载的两电平逆变器,可以是单相的,也可以是三相的。CHBPWM 的工作原理见图 1 所示,将给定电流 I_{ref} 与输出电流 I_0 进行比较,利用比较得到的误差电流信号产生脉冲信号,如果 $I_0 < I_{ref}$,且 $I_{ref} - I_0 \geq h$,滞环控制器 HBC 输出正电平,驱动上桥臂功率开关器件 VT_1 导通,变频器输出正电压,使 I_0 增大。当增长到与 I_{ref} 相等时,HBC 仍保持正电平输出,保持 VT_1 导通,使 I_0 继续增大,直到达到 $I_0 = I_{ref} + h$ 时,滞环翻转,HBC 输出负电平,关断 VT_1 ,并经延时后驱动 VT_4 。由于电机绕组的电感作用,电流不会立刻反向,而是逐渐减小,直到滞环偏差的下限值,HBC 再翻转,又重复使 VT_1 导通。这样 VT_1 和 VT_4 交替工作,使输出电流给定值之间的偏差保持在滞环带宽 $2h$ 范围内,在正弦波上下作锯齿状变化^[2]。

收稿日期:2009-09-15

作者简介:李 宋(1977-),女,江西南昌人,讲师,研究方向为电气工程。

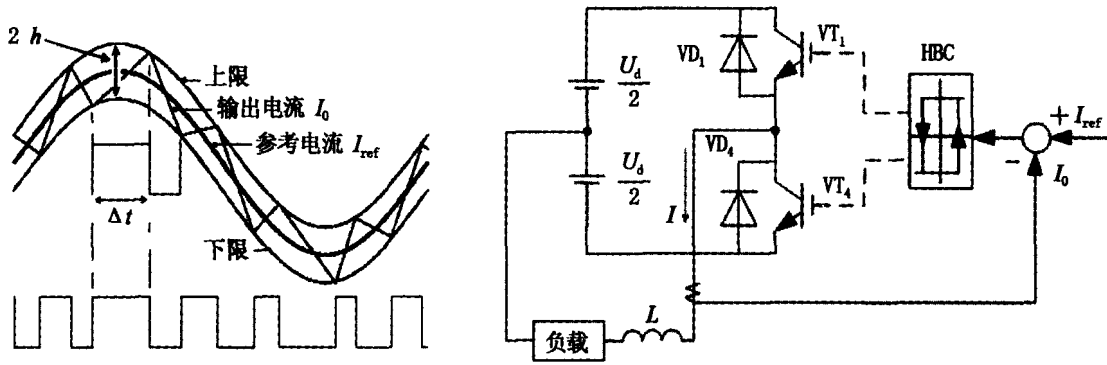


图1 传统的电流滞环控制原理

与其它控制策略相比,滞环电流控制会产生1个成分连续可变的频谱,这些频谱取决于参考电流的导数、输入电压的变化、反电动势和负载参数^[4,5]。尽管如此,滞环电流控制输出的频谱大致还是围绕在开关频率旁带宽附近。

2 随机带宽滞环控制原理

图2给出了RBHCPWM的开关函数框图。由图2可见,随机模块在0~1范围内产生1个随机数,这个随机数定义带宽的上下限,然后利用电流误差信号与带宽相比较,比较结果将产生合适的控制信号,这些信号将被RS寄存器锁定,成为逆变器各器件的触发脉冲信号。为了研究滞环带宽变化对谐波特性的影响,我们首先定义1个正弦参考电流

$$I_{ref} = I_m \sin(\omega t) \tag{1}$$

参考电流的导数为

$$\frac{dI_{ref}}{dt} = I_m \omega \cos(\omega t) \tag{2}$$

由于滞环电流控制在参考电流峰值处的开关频率最高,因此可以在这个区域定义滞环带宽。2h为滞环带宽宽度。

$$\frac{\Delta I_{ref}}{\Delta t} \approx \frac{2h}{\Delta t} = K_1 \tag{3}$$

$$f_s = \frac{1}{\Delta t} = \frac{K_1}{2h} = \frac{K_2}{h} \tag{4}$$

公式(4)给出了开关频率和滞环带宽在负载电流峰值处的相互关系,根据此公式,随着滞环带宽的随机变化,输出电流的频谱大致会围绕开关频率旁频带周围分布,其中K₁和K₂分别为比例系数。

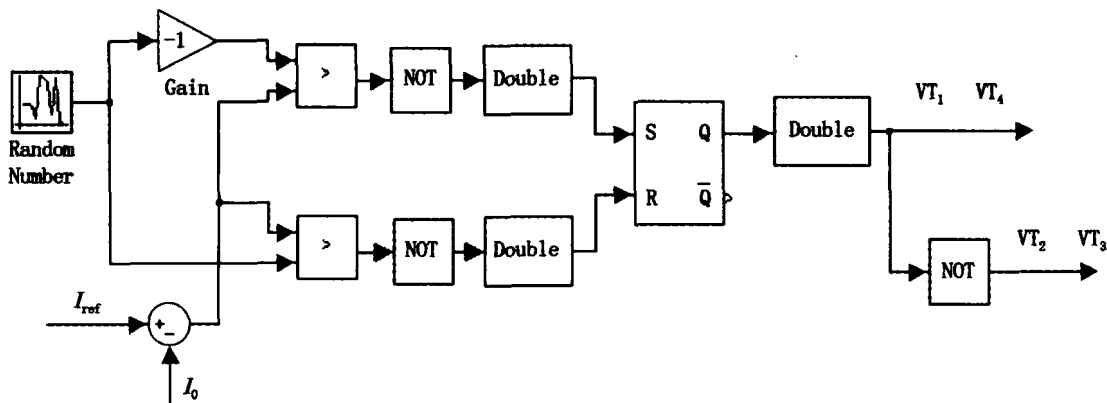


图2 随机带宽滞环控制器的框图

定义随机带宽为: $h = h_0 + h_1 N(R)$, 这里 $N(R)$ 是介于 $0 \sim 1$ 的随机数, h_0 和 h_1 常数。根据公式(4)可得:

$$f_s = \frac{K_2}{h_0 + h_1 N(R)} = \frac{K_2}{h_0 \left(1 + \frac{h_1 N(R)}{h_0} \right)} \quad (5)$$

公式(5)给出了 h_1/h_0 和随机带宽宽度的变化与开关频率变化的对应关系, 为了分析带宽宽度变化对开关频率的影响, 我们定义了3种不同带宽值: 即 h_1/h_0 等于 0.1, 1 和 10。假设 $h_1/h_0 = 0.1$, 参考电流 $I_{ref} = 10$ A, 平均滞环带宽 h 等于负载电流的 5% (即 0.5 A) 时, 并且当 $N(R)$ 为 0 时, f_s 最大值为 $\frac{K_2}{h_0}$; 而当 $N(R)$ 为 1 时, f_s 最小值为 $\frac{K_2}{1.1h_0}$ 。这里我们定义平均带宽: 平均带宽 = $\frac{\text{最小带宽} + \text{最大带宽}}{2}$, 因此可以得到

$$\frac{h_0 + 1.1h_0}{2} = 0.5 \Rightarrow h_0 = 0.45$$

$$h_1 = 0.1h_0 = 0.045$$

因此随机滞环带宽为

$$h = 0.45 + 0.045N(R) \quad 0 < N(R) < 1$$

当 h_1/h_0 等于 1 和 10 时, 分析计算相同。

3 仿真研究

为了说明 RBHCPWM 理论的可行性, 利用 Matlab 仿真软件的 Simulink 和 Powersystems 工具箱对该方法进行了建模和仿真研究, 整个系统的仿真模型图如图 3 所示。由于篇幅有限, 这里只讨论 $h_1/h_0 = 0.1$ 时的情况, 其它两种情况分析方法相同。仿真参数为: $V_{dc} = 200$ V; $R = 1$ Ω ; $L = 2$ mH; $I_{ref} = 10$ A; $f_s = 12.5$ kHz; 随机带宽的平均宽度为 0.5 A。图 4 和图 5 分别给出了传统滞环电流控制和本文采样的随机带宽滞环控制的输出电流频谱图。

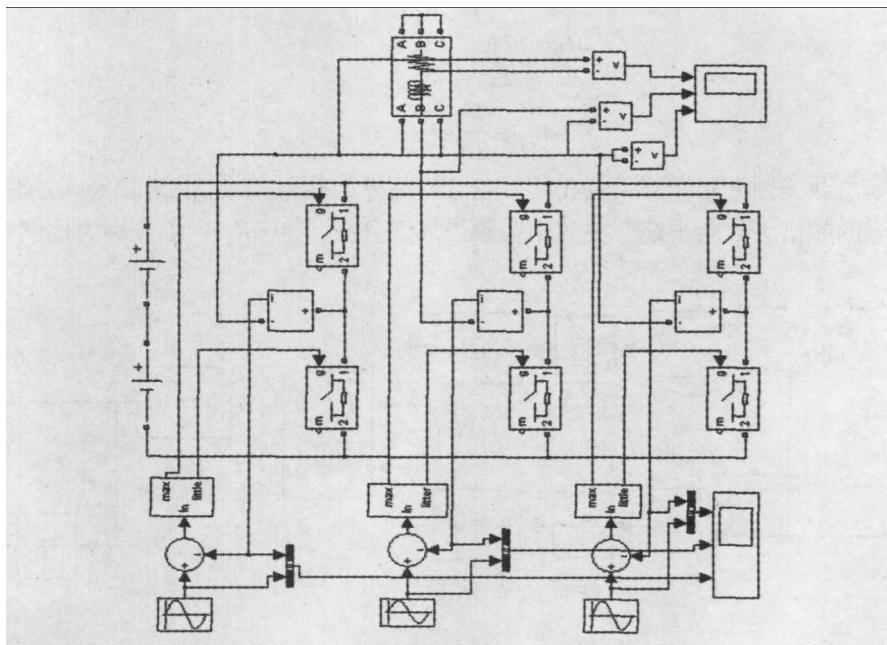


图3 电流滞环跟踪控制仿真模型图

由仿真结果可以看出, 随机带宽滞环 PWM 控制的负载电流频谱分布与传统的滞环电流控制相比, 频谱分布范围被扩展的更宽一些, 但其频谱的幅值更小, 因此输出电流的 THD 也更小一些 (由频谱图可以看

出,采用传统电流滞环控制方法所得到的负载电流的 THD 等于 7.16%,而采用随机带宽滞环控制所得到的负载电流 THD 为 1.43%)。当 h_1/h_0 分别等于 1 和 10 时, RBHCPWM 的负载电流频谱会进一步扩展,频带会更宽,但频谱成分的幅值也会进一步减小,由于篇幅有限,这里就不再给出它们的仿真波形。

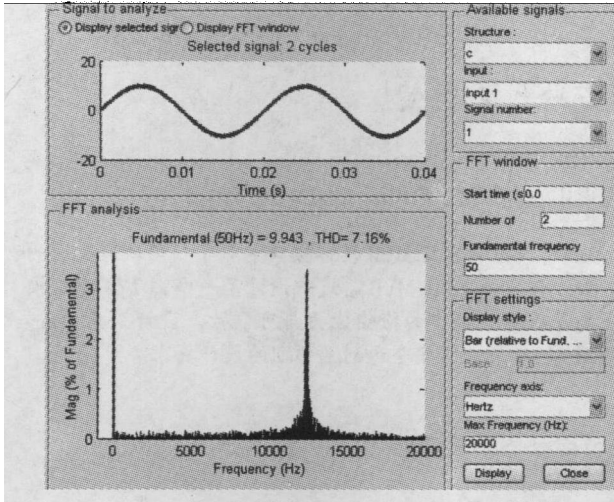


图4 传统的 CHB PWM 输出电流频谱

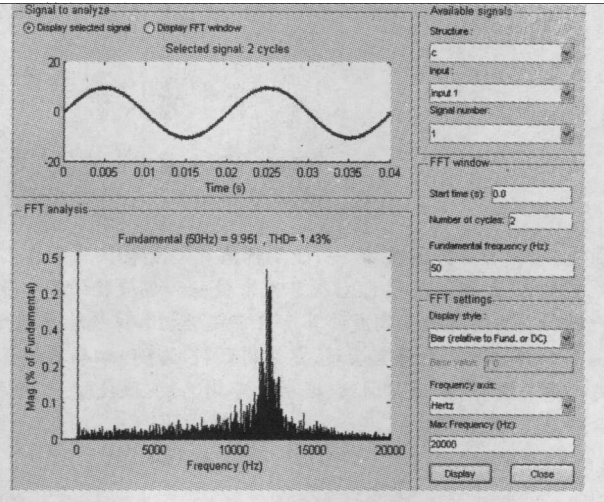


图5 RBHCPWM 输出电流频谱

4 结论

介绍了一种随机带宽滞环电流控制技术。仿真结果表明,该控制策略可以扩展负载电流的频谱分布,减小频谱成分的幅值,在电机传动系统中,采用本方法可以减小噪声和机械振动。

参考文献:

- [1] 叶满园,李 宋,官二勇.九电平高压级联逆变器及其电压移位脉宽调制技术[J].电网技术,2006,30(21):71-74.
- [2] 陈伯时,陈敏逊.交流调速系统[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [3] Kang B J, Liaw C M. Random hysteresis PWM inverter with robust spectrum shaping[A]. Clayton Kerce. IEEE Trans. Aerospace and Electronics Systems[C]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001. 619-628.
- [4] Hui S Y R, Sathiakumar S. Novel random PWM schemes with weighted switching decision[A]. Ali Emadi. IEEE Trans. Power Electronics[C]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997. 945-952.
- [5] Zare F, Nami A. A new random current control technique for a single-phase inverter with bipolar and unipolar modulations[A]. Enrico Santi. Power Conversion Conference IEEE-Nagoya[C]. Japan: the Institute of Electrical Engineers, 2007. 149-156.

Simulation Study of a New Hysteresis Current Control Technology

LI Song

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

Abstract: The inverter and its control methods are applied in more and more fields with the development of power electronics technology. The technology of current hysteresis band PWM is an easy and reliable control method. But traditional current hysteresis band control method has some disadvantages. The harmonic distortion of its load current has comparatively big amplitude around switching frequency side band. This paper introduces a random band hysteresis control method which can extend the spectrum contents of load current around switching frequency side band, and reduce the harmonic distortion of load current. Finally, the simulating results prove that this method is feasible and effective.

Key words: random band; current hysteresis; computer simulation

(责任编辑:刘棉玲)