

基于神经网络的三电平逆变器 SVPWM 算法研究

王 昉¹, 崔晓丹², 刘陵顺¹, 王 晶¹

(1.海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2.烟台发电厂, 山东 烟台 264001)

摘要:三电平逆变器普遍采用电压矢量脉宽调制(Space Vector Pulse Width Modulation, 简称 SVPWM)的控制策略。这里提出了一种基于复合人工神经网络的 SVPWM 算法,充分利用人工神经网络的快速并行处理能力和学习能力,缩短了计算时间,降低了由控制延时引起的谐波成分。在 Matlab/Simulink 环境下,结合 ANN 工具箱建立了仿真模型,最后以 TMS320LF2407 DSP 为数字控制平台,实现了三电平逆变器的 SVPWM 控制策略。

关键词:三电平逆变器; 电压矢量脉宽调制; 人工神经网络

中图分类号:TM464

文献标识码:A

文章编号:1000-100X(2010)12-0097-03

Research on Neural-network-based SVPWM Control Algorithm for Three-level Inverter

WANG Fang¹, CUI Xiao-dan², LIU Ling-shun¹, WANG Jing¹

(1.Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;

2.Yantai Power Plant, Yantai 264001, China)

Abstract:Space vector pulse width modulation(SVPWM) control strategy is widely used in the three-level inverter area.A multiple algorithm based on the SVPWM and artificial neural network is proposed based on the summarized introduction of the ANN.The calculation time is shortened,and the harmonic due to control delay is reduced because of the fast parallel computation and learning capability of ANN.A computer simulation model is developed using Matlab/Simulink together with the neural network toolbox.The SVPWM control strategy of three-level inverter is implemented based on TMS320LF2407 DSP digital control platform.

Keywords:three-level inverter; space vector pulse width modulation; artificial neural network

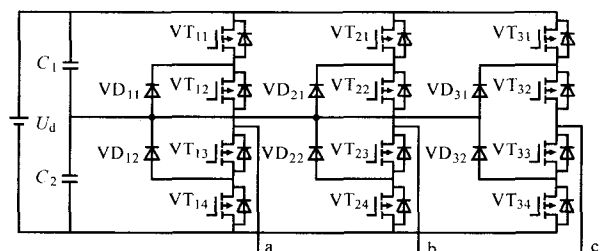
1 引言

多电平逆变器是一种新型的高压大容量功率变换器,其主要优点为:电平数目越高,输出的电压谐波含量越低,开关频率低,开关损耗小,器件应力小,无需动态均压。多电平技术是解决高压大功率变频调速的一个有效途径,在当前电力系统高压直流输电的趋势下,多电平技术在电力输配电方面也有着重要作用。三电平逆变器是多电平逆变器中结构简单,应用较为广泛的一种。随着现代控制理论的发展,神经网络所具有的对于环境变化的自适应性以及满足智能控制需求的特点,使其具有相当广阔的应用前景。

2 三电平逆变器拓扑结构

这里采用二极管箝位式三电平逆变器作为研究的拓扑,图 1 示出其主电路原理^[1]。三电平逆变

器有 27 个电压空间矢量,根据电压空间矢量所属的扇区和工作区域的不同^[2],合理安排合成矢量的类别和个数,首发矢量全部采用负小矢量,简化了合成矢量的选择,利用人工神经网络的快速并行处理能力、学习能力,缩短了计算时间,减低了由控制延时引起的谐波成分。



VD₁₁, VD₁₂, VD₂₁, VD₂₂, VD₃₁, VD₃₂ 为箝位二极管

C₁, C₂ 为分压电容, C₁=C₂, 其上电压均为 U_d/2

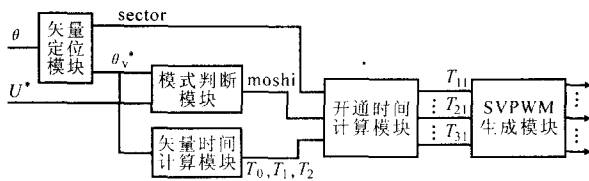
图 1 二极管箝位式三电平逆变器主电路

3 三电平 SVPWM 算法的神经网络^[3-5]

基于人工神经网络实现 SVPWM 的整体框图如图 2 所示。

定稿日期: 2010-10-29

作者简介:王 昉(1982-),女,河南洛阳人,硕士,研究方向为电力电子与电力传动。



U^* 和 θ 分别为参考电压矢量的幅值和位置角
 θ_v^* 为参考电压矢量旋转到第一扇区的对应角
sector 为参考电压所在扇区; moshi 为参考电压所在的工作区域
图 2 基于人工神经网络实现 SVPWM 算法的整体框图

矢量定位模块的任务是确定 sector 以及在该扇区中参考电压矢量的相对位置角。用人工神经网络实现的矢量定位模块如图 3 所示。

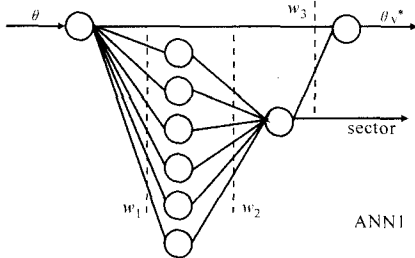


图 3 矢量定位模块图

ANN1 为一个复合神经网络, 其中包含权值 w_1, w_2 的部分为 3 层感知器网络模型, 将其输出层的激活函数调整为线形函数。3 层感知器网络的输出神经元与整个网络的输入神经元以及输出为 θ_v^* 的神经元构成一个 2 层前向子网络, 权值为 w_3 。ANN1 无需训练, 所有权值、阈值固定, w_1, w_2 的元素均为 1, $w_3 = [1; -\pi/3]$, 3 层感知器网络的隐含层阈值为: $b = [0; -\pi/3; -2\pi/3; -\pi; -4\pi/3; -5\pi/3]$, 输出神经元 sector 的阈值为零, θ_v^* 的阈值为 $\pi/3$ 。

模式判断模块的任务是确定参考电压矢量处在哪个工作区域, 该模块为一个 5 层前向网络。由人工神经网络实现的模式判断模块如图 4 所示。

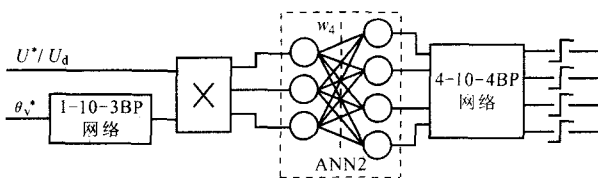


图 4 模式判断模块图

ANN2 为单层感知器网络结构, 权值和阈值固定, 权值为: $w_4 = [1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1; 0 \ 0 \ 1]$, 阈值为 $b_4 = [-\sqrt{3}/4; -\sqrt{3}/4; -\sqrt{3}/4; 0]$ 。两个 BP 网络需要离线训练。4-10-4BP 网络的输出结果经过门阈值为 0.9 的硬限幅后输出 4 个二进制数, 网络采用离线训练方式, 训练样本为 4 对离散的数据, 分别对应 4 个工作区域。

矢量作用时间计算模块的任务是计算在各工作模式下参考电压矢量 3 个基本矢量的作用时间, 其网络模型如图 5a 所示。

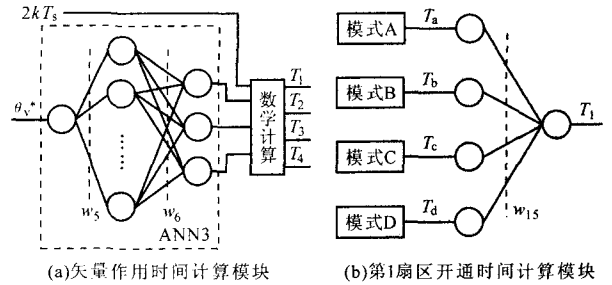


图 5 矢量作用时间计算模块

该模块也由两部分构成, ANN3 为 1-10-3BP 网络, 采用离线训练, 拟合 3 个三角函数。

由矢量旋转的规律可见, 参考矢量在 1, 3, 5 扇区的作用顺序相似, 在 2, 4, 6 扇区的作用顺序也相似。分别计算参考矢量位于第 1 和第 2 扇区时各开关器件的开通时间。

SVPWM 生成模块输入为逆变器三相桥臂上桥臂 6 个开关器件的开通时间 $T_{11}, T_{12}, T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32}$, 输入与一个三角载波比较输出 6 路 PWM 波, 逆变器下桥臂的开关状态与上桥臂刚好相反。

4 仿真结果

在 Matlab/Simulink 环境下, 结合 ANN 工具箱建立了三电平逆变器仿真模型。参数为: 直流母线电压 400 V, 直流侧电容值 4 700 μF , 载波频率 3 kHz, 负载为 Simulink 自带的三相 RLC 并联负载。

图 6 示出三电平逆变器采用 SVPWM 控制方法时, 输出相 a 相的相电压波形。

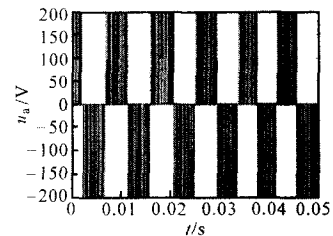


图 6 a 相相电压波形

图 7 示出参考电压矢量旋转过程中分别经过 A 区, B 区, BCD 区, CD 区时的线电压仿真波形。

仿真结果表明, 采用 SVPWM 方式, 三电平逆变器可输出三电平阶梯波的相电压波形、5 个电平值的线电压波形, 其波形比两电平逆变器的输出更接近正弦波。通过测量直流侧分压电容的电压差值, 根据系统运行状态来进行反馈补偿控制, 能够达到控制中点电位的目的。

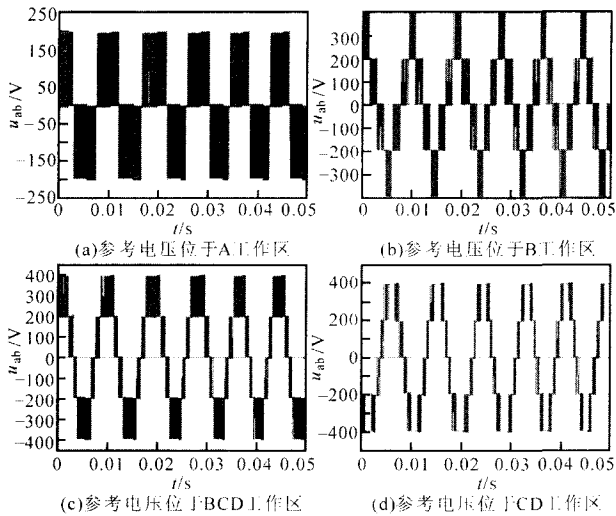


图7 参考电压位于4个工作区域时的线电压波形

5 实验结果

系统软件由芯片 TMS320LF2407 来实现。主要由主程序、中断服务子程序和故障服务子程序组成^[6]。利用 DSP 事件管理器产生所需的 SVPWM 信号，然后根据所选的电压空间基本矢量计算出每个开关器件的导通时间。TMS320LF2407 的事件管理器中有 6 个全比较单元，共可输出 6 路互补的 PWM 信号。SVPWM 子程序计算出 6 个全比较器的比较值 $CMPR_x(x=1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 。该值与定时器的值比较后输出预期的触发脉冲来控制各开关器件的导通和关断。

对控制部分进行了开环实验，图 8 示出 a 相桥臂开关管 $VT_{11}, VT_{12}, VT_{13}$ 的驱动波形。

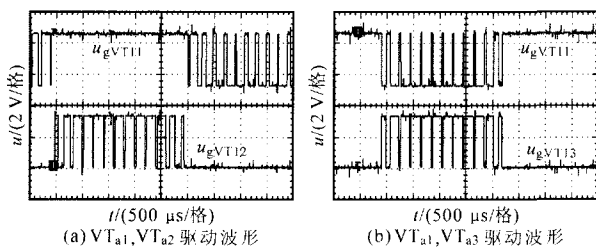


图8 开关管驱动波形

由实验输出的开关管驱动波形可见，所提出的基于复合人工神经网络的 SVPWM 算法能产生互补的 PWM 控制信号，驱动开关管按照空间矢量控制的策略正确导通，实现了三电平逆变的控制目的。实验验证了该控制策略的可行性。

6 结论

以二极管箝位式三电平逆变器为研究对象，阐述了逆变器的电路结构和电压空间矢量脉宽调制控制算法的实现方法；分析了该电路模式下中点电位不平衡的原因，并提出了一种平衡中点电位的方法。在 Matlab/Simulink 环境下，结合 ANN 工具箱建立了仿真模型，结果证明了基于复合 ANN 算法的可行性。采用 TMS320LF2407 DSP 进行了系统的软件设计。作为近年发展起来的一种新型变流技术，三电平逆变器已成为大容量变流装置的主要电路拓扑，具有十分广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 陶生桂,杨超.二极管箝位式多电平逆变器 PWM 控制技术分析[J].电力电子技术,2005,39(5):7-9.
- [2] 胡磊,何湘宁,邓焰.多电平空间矢量脉宽调制的简化算法[J].电力电子技术,2005,39(5):12-14.
- [3] Cong wang, B K Bose, V.O.S. Mondal, et al. Neural-network-based Space-vector PWM of a Three-level Inverter Covering Over Modulation Region and Performance Evaluation on Induction Motor Drive[J].IEEE Trans. on Ind. (S7803-7906) Applicat., 2003: 1-6.
- [4] J O P Pinto, B K Bose, L E B da Silva, et al. A Neural-network Based Space-vector PWM Controller for Voltage-fed Inverter Induction Motor Drive[J].IEEE Trans. on Ind (S7803-5589). Applicat., 2000, 36(6): 1628-1636.
- [5] 潘庭龙, 纪志成, 谢林柏, 等. 基于 ANN 的一种新型 SVPWM 控制器设计[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 420-423.
- [6] 江思敏. TMS320LF240x DSP 应用程序设计教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

2011年第8期“风力发电中的电力电子与系统技术”专辑征文

为了更好地推进风力发电中“电力电子与系统”相关技术的研究与应用,本刊拟将2011年第8期辟为“风力发电中的电力电子与系统技术”专辑,以集中反映这一领域国内外近期的研究情况、关键技术的发展和创新的。

欲投稿的作者请在2011年05月30日前将论文寄到本刊编辑部(Email:dldzjstg@163.com),并注明“风力发电中的电力电子与系统技术专辑”字样。所投论文将按本刊常规审稿程序请国内外同行专家评审,评审结果将于2011年06月30日前通知作者。本刊邀请合肥工业大学张兴教授和清华大学杨耕教授作为本专辑的特邀主编,对本领域的研究及专辑的论文进行分析和点评。

截稿日期:2011年05月30日 论文刊登期号:2011年第8期(2011年8月20日出版)