

基于简化决策树的空间矢量逆变技术研究

高志刚, 李建林, 赵 斌, 许洪华

(中国科学院电工研究所, 北京市 海淀区 100087)

Research on SDT-SVM Inversion Technique

GAO Zhi-gang, LI Jian-lin, ZHAO Bin, XU Hong-hua

(Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Haidian District, Beijing 100087, China)

ABSTRACT: This paper presents a SVM implementation base on Simplified Decision Trees (SDT). SDT-SVM applies SDT to the calculation of sector index and the duration of the adjacent switching state vectors, by which the none-linear calculations such as sin、atan and sqrt functions are avoided. This technique can be realized easily and reduce the computation time and improve the accuracy markedly. Further more, the sample time can be shortened in this case, which can reduce the Total Harmonic Distortion (THD) and make the output waveform better.

KEY WORDS: space vector modulation; simplified decision trees; power electronics; three-phase inversion; simplified decision trees-space vector modulation

摘要: 提出了一种基于简化决策树(simplified decision tree, SDT)的空间矢量调制技术(space vector modulation, SVM)的实现方法。该技术通过应用决策树简捷高效地实现了扇区号及相应电压基矢量作用时间的计算,省去了传统 SVM 此间存在的正弦、反正切、开方等非线性计算,节省了计算时间,提高了计算精度。从而可以进一步减小采样周期。仿真实验结果表明:采用该方法后,降低了输出波形畸变率,电压电流波形更加理想,为实现更好的逆变效果提供了条件。

关键词: 空间矢量调制; 决策树; 电力电子; 三相逆变; 简化决策树空间矢量

0 引言

空间矢量调制(space vector modulation, SVM)具有直流电压利用率高,开关器件损耗低,波形畸变率低等优点^[1-6]。然而,SVM中扇区号及相应电压基矢量作用时间的计算往往会消耗大量时间,因为其中涉及多次正弦、反正切以及开方等非线性运算,所以在SVM中不得不对最小采样周期进行限制,以保证每次采样中有足够的时间来计算扇区号

及相应电压基矢量作用时间^[7-8]。这限制了开关频率的提高,增大了输出波形中最低次谐波的频率,使波形畸变率增加,对SVM的广泛应用产生不良的影响^[9-10],特别是输出波形中的谐波还会给电网带来污染,降低电能的生产、传输和利用效率,降低电气设备运行的可靠性,严重时损害电气设备,危害系统安全。

本文将决策树引入到 SVM 中来,通过决策树的“学习”建立了“决策树模型”。在实际应用中样本分类模式固定且具有周期性,因而可以事先指定该模型从而进一步省去学习过程。经分析可知:基于简化决策树的 SVM 同传统 SVM 相比,不但避免了非线性计算,还减少了乘除法的运算次数,极大地减少了计算时间,提高了计算精度。仿真和试验结果表明,基于简化决策树的 SVM 技术是一种较传统 SVM 更好的调制策略。

1 空间矢量调制的基本原理

空间矢量调制(SVPWM)以三相对称正弦波电压供电时三相对称电动机定子的理想磁链圆为基准,由三相逆变器不同的开关模式所产生的实际磁链矢量去逼近基准磁链圆,并由它们比较的结果决定逆变器的开关状态,其原理图如图 1^[2,11-12]。

从图 1 可知,利用 8 个基本矢量可以合成任意角度和模长的参考矢量 U_{ref} 。以第 I 扇区为例,依平行四边形法则^[12],并求得解:

$$U_x T_x + U_y T_y = U_{ref} T_s \quad (1)$$

$$\begin{cases} T_x = \sqrt{3} \|U_{ref}\| T_s \sin(\pi/3 - \theta) / U_D \\ T_y = \sqrt{3} \|U_{ref}\| T_s \sin \theta / U_D \quad (0 \leq \theta \leq \pi/3) \\ T_0 = T_s - T_x - T_y \end{cases} \quad (2)$$

式中： T_s 为采样周期； T_x 、 T_y 分别为 U_x 、 U_y 的作用时间， T_x 、 T_y 不足时，插入零矢量补足，一般有

$$\begin{cases} T_0 = kT_0 \\ T_7 = (1-k)T_0 \end{cases} \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (3)$$

式中 T_0 、 T_7 分别代表零矢量 U_0 、 U_7 的作用时间。

本文所采用三相全桥逆变电路拓扑结构如图2所示。直流电压为 U_D ，逆变器的输出通过电感同电网相连，负载为三相对称星型连接。

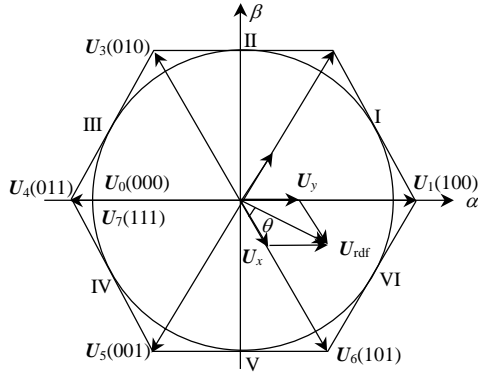


图1 电压空间矢量图

Fig. 1 Chart of voltage space vector

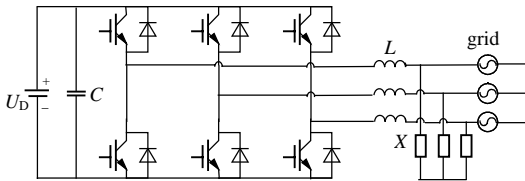


图2 三相全桥逆变电路拓扑

Fig. 2 Topology of three-phase full bridge inversion

2 基于简化决策树的 SVM 原理

决策树是数据挖掘中应用最广泛的技术之一^[13]，一般用于对新数据对象的分类或预测。所谓决策树就是一个类似流程图的树型结构。其中，树的每个内部结点代表对一个属性(取值)的测试，其分支就代表测试的每个结果；而树的每个叶结点就是代表一个类别。决策过程的前后顺序如用图形表示出来，就像树枝的分杈，因而取名为决策树。决策树可以是二叉的，也可以是多叉的。

决策树一般都是自上而下的来生成的,选择分割的方法有好几种，但是目的都是一致的，即对目标类尝试进行最佳的分割。决策树有如下的优点：

- ①可以生成易于理解的规则；
- ②计算量相对来说不是很大；
- ③可以处理连续和种类字段；
- ④决策树可以清晰地显示哪些字段比较重要。

SVM中需要确定电压矢量所在的扇区号并确定各基矢量的作用时间，这属于“分类”的范畴，

且分类结果确定，因而同决策树的产生和应用场合极其相似，这使得将决策树思想与SVM结合起来成为可能。借鉴决策树思想并建立决策树模型^[13-14]如下所述：

(1) 给定样本集 $\Phi = \{S_1, S_2, S_3, \dots | S_i = \{U_{ref_a}, U_{ref_b}, U_{ref_c}\}, i=1,2,3, \dots\}$ 。

(2) 针对给定的样本集，由式(4)构造其属性集 $\Psi = \{P_a, P_b, P_c\}$ ，对样本集 Φ 的分类亦即对属性集 Ψ 的分类。

$$\begin{cases} P_a = U_{ref_a} - U_{ref_b} / 2 - U_{ref_c} / 2 \\ P_b = U_{ref_b} - U_{ref_a} / 2 - U_{ref_c} / 2 \\ P_c = U_{ref_c} - U_{ref_a} / 2 - U_{ref_b} / 2 \end{cases} \quad (4)$$

(3) 分析属性值 P_a, P_b, P_c 在分类结果(扇区号)变化时的取值特征，并绘制于二维平面中，如图3所示。

由图3可知，属性值 P_a, P_b, P_c 的相互关系随所处扇区的变化而各有不同，引入决策树的分类思想，则建立如图4所示的决策树模型。

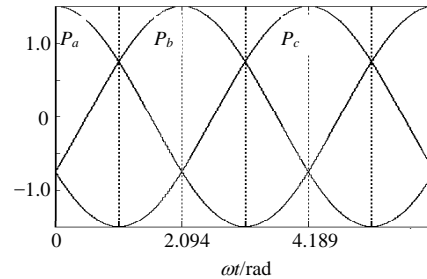


图3 在不同扇区 P_a, P_b, P_c 的取值

Fig. 3 P_a, P_b and P_c in each sector

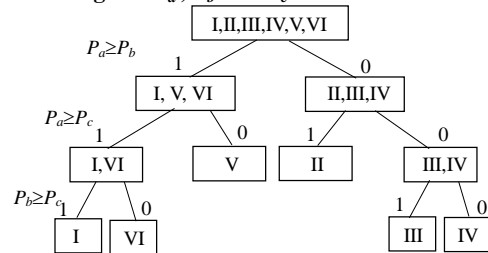


图4 决策树示意图

Fig. 4 Schematic of decision trees

图4中的决策树决定了决策过程：样本的属性值从根节点开始逐步向下运动，当到达一个叶节点时，即表示分类完成。由于决策树的分类结果为I, II, III, IV, V, VI中的某一个，且决策树工作过程中所处理的样本成周期性出现，分类结果仅取决于式(4)中 P_a, P_b, P_c 的大小关系，因此在应用于SVM时，决策树的模型可事先给定，从而可以省去决策树的学习过程(称此时的决策树为简化决策树, simplified decision tree, SDT)，这有利于该技术的进一步实用化。

由图 4 还可以看到，对应于一个样本 S ，决策树从开始工作到得到分类结果，最多需要进行 3 次比较(当电压矢量在 I, III, IV, VI 扇区)，最少仅需要 2 次(当电压矢量在 II, V 扇区)。因此比较次数的期望值为

$$E = 3 \frac{4}{6} + 2 \frac{2}{6} = 2.67 \quad (5)$$

空间矢量调制(SVM)还需要计算出基矢量的作用时间 T_i, T_{i+1} 。令

$$\begin{cases} V_1 = P_a \\ V_2 = -P_c \\ V_3 = P_b \\ V_4 = -P_a \\ V_5 = P_c \\ V_6 = -P_b \end{cases} \quad (6)$$

由图 1 及式(6)可得

$$\begin{bmatrix} V_i \\ V_{i+1} \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \|U_{ref}\| \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \cos(\pi/3 - \theta) \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \|U_{ref}\| \frac{2}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1/2 & 1 \\ 1 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin(\pi/3 - \theta) \end{bmatrix} = \sqrt{3} \|U_{ref}\| \begin{bmatrix} 1/2 & 1 \\ 1 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin(\pi/3 - \theta) \end{bmatrix}$$

其中, $i=1,2,3,4,5,6$ 。化简, 并同式(2)比较得^[7]

$$\begin{bmatrix} T_i \\ T_{i+1} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \frac{T_s}{U_D} \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_{i+1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

3 SDT-SVM 特点分析

SDT-SVM 计算量和传统 SVM 的计算量分别如表 1、2 所示。设进行一次乘法、除法、加法、比较、正弦、反正切、开方、移位所需要的时间分别为 T_{mul} 、 T_{div} 、 T_{add} 、 T_{cmp} 、 T_{sin} 、 T_{arctan} 、 T_{sqrt} 、 T_{shift} 。一般情况下, 上述量的大小关系为

$$T_{arctan}, T_{sin}, T_{sqrt} > T_{mul}, T_{div} > T_{add}, T_{shift}, T_{cmp} \quad (8)$$

表 1 中共计消耗时间为 $2T_{mul} + 8T_{shift} + 13T_{add} + 2.67T_{cmp}$; 表 2 中共计消耗时间为 $10T_{mul} + T_{div} + 2T_{sin} + T_{arctan} + T_{sqrt} + 8T_{add} + 3.5T_{cmp}$ 或 $16T_{mul} + 2T_{sin} + 12T_{add} + 6.5T_{cmp} + T_{sqrt}$ 。参考式(8), 不难发现: SDT-SVM 非但避免了计算正弦, 反正切, 开方等非线性函数^[7], 而且还大大减少了乘除运算的次数, 引入的移位和

表 1 SDT-SVM 计算量
Tab. 1 Computation of SDT-SVM

序号	主要运算	计算量
(1)	输入三相参考电压	0
(2)	由式(4)计算 P_a, P_b, P_c	$6T_{shift} + 6T_{add}$
(3)	由决策树得到此时电压矢量所在的扇区	$2.67T_{cmp}$
(4)	由式(6)计算 $V_i, i=1,2,3,4,5,6$	$3T_{add}$
(5)	由式(7)计算 T_i, T_{i+1} 及 T_0	$2T_{mul} + 2T_{shift} + 4T_{add}$
总计		$2T_{mul} + 8T_{shift} + 13T_{add} + 2.67T_{cmp}$

表 2 传统 SVM 的计算量
Tab. 2 Computation of conventional SVM

序号	主要运算	计算量
(1)	输入三相参考电压	0
(2)	$\alpha\beta$ 变换计算 U_α, U_β	$6T_{mul} + 4T_{add}$
(3)	$\ U_{ref}\ = U_{ref} = \sqrt{U_\alpha^2 + U_\beta^2}$	$2T_{mul} + T_{add} + T_{sqrt}$
(4)	$\theta = \arctan(U_\alpha / U_\beta)$ 或 $N = A + 2B + 4C$	$T_{div} + T_{arctan}$ 或 $6T_{mul} + 4T_{add} + 3T_{cmp}$
(5)	根据 θ 判断电压矢量所在的扇区	nT_{cmp} , 其中 $n = \sum_{i=1}^6 i \cdot \frac{1}{6} = 3.5$
(6)	$T_i = m \cdot T_s \sin(\pi/3 - \theta)$ $T_{i+1} = m \cdot T_s \sin(\theta)$ $T_0 = T_s - T_i - T_{i+1}$	$2T_{mul} + 3T_{add} + 2T_{sin}$
总计		$10T_{mul} + T_{div} + 2T_{sin} + T_{arctan} + T_{sqrt} + 8T_{add} + 3.5T_{cmp}$ 或 $16T_{mul} + 2T_{sin} + 12T_{add} + 6.5T_{cmp} + T_{sqrt}$

比较操作, 仅需有限的指令数即可完成计算。这可以进一步减小采样周期, 降低逆变输出波形的畸变率, 改善输出波形的质量, 这些优点都有利于该技术进一步实用化。

4 仿真及实验验证

使用 Matlab6.5 提供的 Simulink 仿真工具建立如图 2 所示的整个逆变系统的模型^[15-16], 系统参数为: 直流电压 $U_D = 300 \text{ V}$, 三相输入相电压幅值为 110 V , 角频率 $\omega = 100 \pi \text{ rad/s}$, 开关频率为 5 kHz , 逆变器输出端所接阻抗为 $R = 0.5 \Omega, L = 100 \text{ mH}$, 三相对称负载星型连接, $X = 50 \Omega$, 零矢量的作用策略采用“七段法”, 仿真时间为 0.2 s , 仿真算法为 ode45, 仿真结果由图 5~8 所示。

图 5 中电网电压与电流同相位, 具有高的功率因数。图 6 中电网电流, 逆变器电流及负载电流符合基尔霍夫电流定律, 由波形可以看出, 逆变器输出电流同电网电流同频反相, 正常地工作在逆变状态, 向电网馈送能量。

由图 7 中所示的脉冲波形可知, 此时电压矢量参考矢量 \vec{U}^* 位于 V 扇区, 且三路脉冲的开通、关断次序同“七段法”特征相吻合, 说明逆变器工作正常。图 8 给出了逆变器输出端 AB 相电压波形, 电压最大幅值 300 V , 为 U_D , 周期为 0.02 , 同给定的

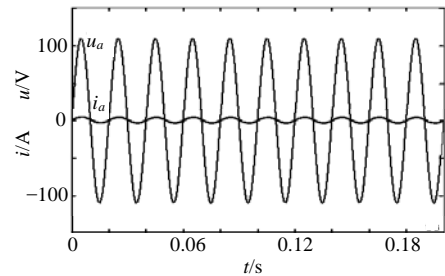


图 5 电网 A 相电压及电流波形
Fig. 5 A phase voltage and current waveform

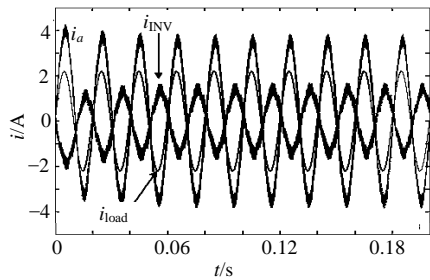


图6 电网A相电流、逆变器电流及负载电流
Fig. 6 A phase, inverter and load current

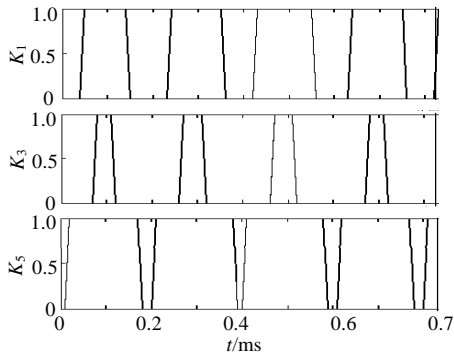


图7 上桥臂开关脉冲仿真波形
Fig. 7 Pulses waveform in simulation

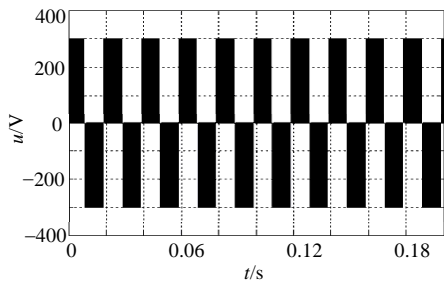


图8 逆变器AB相线电压波形
Fig. 8 Waveform of AB line voltage in inverter

参考电压周期相同。

图9为逆变器AB相输出线电压的频谱，由图9可以看出，谐波主要集中在5, 10, 15, 20 kHz等开关频率整数倍位置。由图10中对逆变器A相输出电流的谐波分析可知，谐波亦集中在5, 10, 15, 20 kHz等开关频率整数倍位置^[17]，电流总畸变率较低，逆变器工作特性良好。

实验中采取TI公司的TMS320LF2407DSP芯片，开关器件采用三菱公司的PM200DSA120型IPM，电网侧电压经调压器降为180 V，电感取0.2mH，三相星型负载为 $R=120\ \Omega$ 。通过使用DSP自带的A/D模块实现电网侧电压幅值和相位的获取，实现逆变器输出波形与电网波形的同频同幅^[18]。具体实验波形如图10~12所示。

图10中电网电压与电流的波形同图6中的仿真波形相同，电压、电流波形均为正弦。图11中开关驱动波形亦与图7吻合，这验证了从理论到仿真再到实验的正确性。

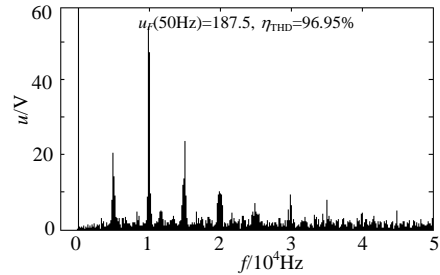


图9 逆变器AB线电压谐波分析
Fig. 9 FFT analysis for AB line voltage

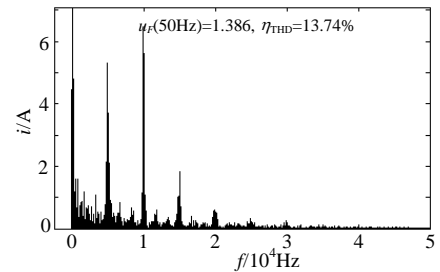


图10 逆变器A相电流谐波分析
Fig. 10 FFT analysis for inverter current

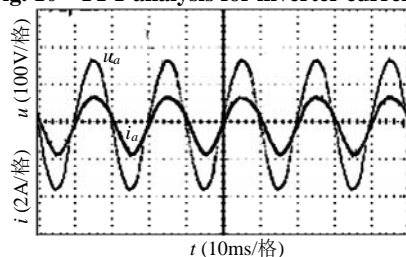


图11 电网A相电压及电流实验波形
Fig. 11 Experimental waveform of u_a, i_a

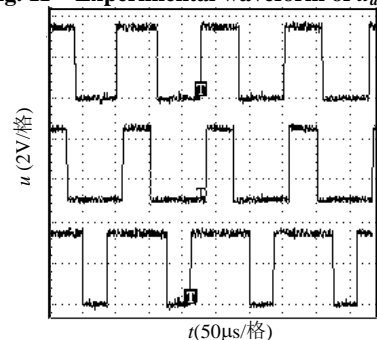


图12 上桥臂开关的驱动波形
Fig. 12 Pulses of the upper IPM

由仿真及实验波形可知，SDT-SVM在简化计算、缩短计算时间的同时仍具有良好的逆变效果，其仿真波形和实验波形同期望波形相同，证明了本文第3节理论分析的正确性，说明了基于简化决策树的SVM具有高的实用性和可靠性，应用前景看好。

5 结论

逆变是电力电子技术重要地组成部分, 空间矢量调制是一种优越的调制技术, 并在实际中得到了越来越广泛得应用。将决策树引入 SVM 是一种尝试, 大量的非线性计算在决策树的“决策”过程中被一一避免。基于简化决策树(SDT)的 SVM 技术巧妙地利用了决策树思想, 继承了传统 SVM 的固有优点, 同时更简化了软硬件的实现过程, 提高了可靠性和计算精度, 减少了运算次数和时间, 使采样周期更小, 从而提高输出波形中最低次谐波的频率, 降低输出波形的畸变率, 改善逆变效果, 是一种具有广阔应用前景的逆变技术。

参考文献

- [1] 马皓, 郎芸萍. 空间矢量简化算法在三相 PWM 电压型整流器中的应用[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(1): 176-180.
Ma Hao, Lang Yunping. Application of simplified space-vector modulation algorithm to three-phase voltage source PWM rectifier [J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2006, 40(1): 176-180(in Chinese).
- [2] 周卫平, 吴正国, 唐劲松, 等. SVPWM 的等效算法及 SVPWM 与 SPWM 的本质联系[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 133-137.
Zhou Weiping, Wu Zhengguo, Tang Jinsong, et al. A novel algorithm of SVPWM and the study on the essential relationship between SVPWM and SPWM[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(2): 133-137(in Chinese).
- [3] 翁力, 韩林, 赵荣祥, 等. SVPWM 扇区过渡的讨论[J]. 中小型电机, 2004, 31(1): 42-44, 61.
Weng Li, Han Lin, Zhao Rongxiang, et al. Discussion on sector transition in SVPWM[J]. S&M Electric Machines, 2004, 31(1): 42-44, 61(in Chinese).
- [4] 陈希有, 陈学允. 基于 PARK 变换的空间矢量调制矩阵变换器的暂态分析[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(5): 80-84.
Chen Xiyun, Chen Xueyun. Park transformation based the transient analysis for the space vector modulated matrix converter [J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(5): 80-84(in Chinese).
- [5] 明正峰, 钟彦儒. SVPWM 技术在零电压过渡三相逆变器中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(6): 56-61.
Ming Zhengfeng, Zhong Yanru. The research of SVPWM method applied in dc-link zero-voltage-transition three-phase Inverter [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(6): 56-61(in Chinese).
- [6] 张兴, 李建强, 余勇, 等. 电流型 PWM 整流器低电压应力空间矢量 PWM(SVPWM)研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 144-149.
Zhang Xing, Ji Jianqiang, Yu Yong, et al. Study of low voltage stress space vector PWM control for current source PWM rectifier [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2): 144-149(in Chinese).
- [7] 李建林, 李玉玲, 李淳, 等. 基于反向传播神经网络的 SVM 技术在电压型变频器中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(6): 71-74.
Li Jianlin, Li Yuling, Li Chun, et al. Research on CPN-SVM technique applied in VSC[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(6): 71-74(in Chinese).
- [8] 孔雪娟, 王荆江, 彭力, 等. 采用 SVPWM 的三相逆变电源的分散逻辑并联运行[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6): 81-86.
Kong Xuejuan, Wang Jingjiang, Peng Li, et al. Distributed logic paralleling operation of three phase inverters applying SVPWM [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(6): 81-86(in Chinese).
- [9] 李建林, 张仲超. 电流型有源电力滤波器的仿真[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 15(3): 59-61.
Li Jianlin, Zhang Zhongchao. Simulation of a current active power filter[J]. Proceedings of the EPSA, 2004, 15(3): 59-61(in Chinese).
- [10] 王长永, 金陶涛, 张仲超. 基于 CPS-SPWM 技术的电流源有源滤波器的研究[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(13): 11-14.
Wang Changyong, Jin Taotao, Zhang Zhongchao. Analysis on control system of current source active power filter based on phase-shifted SPWM technique[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(13): 11-14(in Chinese).
- [11] 张立伟, 刘钧, 温旭辉, 等. 基于基波电压幅值线性输出控制的 SVPWM 过调制新算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(19): 12-18.
Zhang Liwei, Liu Jun, Wen Xuhui, et al. A novel algorithm of SVPWM inverter in the over modulation region based on fundamental voltage amplitude linear output control[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(19): 12-18(in Chinese).
- [12] 李明峰, 林平, 张仲超. DPLD 实现快速低开关损耗的优化 SVPWM 算法[J]. 电力电子技术, 2002, 36(6): 61-63.
Li Mingfeng, Lin Ping, Zhang Zhongchao. Complex programmable logic device applied to optimized SVPWM algorithm[J]. Power Electronics, 2002, 36(6): 61-63(in Chinese).
- [13] Benbrahim H, Bensaid A. A comparative study of pruned decision trees and fuzzy decision trees[C]. Fuzzy Information Processing Society, 2000. NAFIPS. 19th International Conference of the North American 2000.
- [14] Wang Xiaodan, Wu Chongming. Using improved SVM decision tree to classify HRRP[C]. Proceedings of International Conference Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, China, 2005.
- [15] 田亚菲, 何继爱, 黄智武. 电压空间矢量脉宽调制(SVPWM)算法仿真实现及分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(4): 68-71.
Tian Yafei, He Jiai, Huang Zhiwu. Simulation and analyzation of space vector PWM[J]. Proceedings of the EPSA, 2004, 16(4): 68-71(in Chinese).
- [16] 李建林, 王立乔, 李彩霞, 等. 基于现场可编程门阵列的多路 PWM 波形发生器[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(10): 55-59.
Li Jianlin, Wang Liqiao, Li Caixia, et al. Multi-PWM pulse generator based FPGA[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(10): 55-59(in Chinese).
- [17] Vassallo J, Clare J C, Wheeler P W. A power-equalized harmonic-elimination scheme for utility-connected cascaded H-bridge multilevel converters[C]. Industrial Electronics Society, 2003. IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE, Newark, Nj, 2003.
- [18] 李建林, 林平, 王长永, 等. 基于载波相移 SPWM 技术的电流型有源电力滤波器的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(10): 99-103.
Li Jianlin, Lin Ping, Wang Changyong, et al. Research on current-source converter with carrier phase shifted SPWM for active power filter [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(10): 99-103(in Chinese).

收稿日期: 2007-04-21。

作者简介:

高志刚(1983—)男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动、风力发电技术, gaozhigang@mail.iee.ac.cn;

李建林(1976—)男, 博士, 博士后, 研究方向为有源电力滤波器、变速恒频风力发电技术;

赵 斌(1968—)男, 中科院电工所可再生能源发电研究发展中心副主任, 副研究员, 研究方向为风力发电、太阳光伏发电以及电力电子技术;

许洪华(1967—)男, 中科院电工研究所可再生能源发电研究发展中心主任, 研究员, 博士生导师, 研究方向为并网及独立运行风力发电、太阳光伏发电及混合发电系统设计及控制技术。

(编辑 王彦骏)