

空间矢量脉冲宽度调制算法的优化

毕 卉, 任雁鹏, 梁利平

(中国科学院 微电子研究所, 北京 100029)

摘 要: 在传统的 SVPWM 算法的基础上, 对计算量大的环节——扇区判断环节、电压矢量作用时间求解环节进行改进, 并且使用可以通过估计得到的角度值进行计算, 避免了传统方法中的坐标变换、三角函数求解、反三角函数求解以及矢量分解等计算过程. 文中提出的算法在 matlab/simulink 仿真环境下进行了仿真和验证, 证明了该算法的正确性.

关键词: 空间矢量脉冲宽度调制; 扇区判别; 作用时间求解

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)11-0125-04

Optimization in Space Vector Pulse—Width Modulation

BI Hui, REN Yan-peng, LIANG Li-ping

(Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: A novel Dispersion SVPWM Algorithm is proposed in the paper based on the conventional SVPWM analysis, especially in two parts which are sector distinguish and dwelling time. Novel algorithm is based on the angle of voltage vector which get through estimating algorithm, avoiding coordinate transformations, trigonometric function, inverse trigonometric function and vector decomposition, which simplified the conventional SVPWM algorithm. The proposed method is effective by the simulated and experimental results.

Key words: space vector pulse—width modulation; sector distinguish; time dwelling

1 引言

近年来, 空间矢量脉冲宽度调制 (Space Vector Pulse—Width Modulation, SVPWM) 在交流电机的调制方面得到了广泛的应用, 其优点主要在于较低的开关损耗、较高的输出电压以及更好的谐波特性. 但是, 传统的 SVPWM 算法需要涉及到坐标变换过程, 计算复杂度比较高, 计算量比较大, 导致 SVPWM 算法无法得到大量的应用^[1-2]. 文献[3]对传统的 SVPWM 算法进行了改进, 算法过程中附加了进行三相定子电压之间的大小比较判断, 计算量依然很大. 在此基础上, 文中算法直接利用三相定子电压之间的差进行, 可以大大简化计算复杂度, 节省计算时间.

2 实现方法

2.1 传统的 SVPWM 算法

SVPWM 算法的思想是跟踪圆形旋转磁场来控制电压矢量 $\vec{V}_{ref}$, 电压矢量 $\vec{V}_{ref}$ 是由三相定子电压合成得到的量.

电压矢量的控制主要由以下步骤组成: (1) 对 $\vec{V}_{ref}$ 所在的扇区进行判断; (2) 求解关于基本电压矢量的作用时间的辅助变量; (3) 根据扇区确定合成 $\vec{V}_{ref}$ 的基本电压矢量, 在辅助变量中选择合适电压矢量的作用时间; (4) 利用基本电压矢量的作用时间得到开关脉冲波形. 算法框图如图 1 所示.

传统的 SVPWM 算法是基于电压矢量的正交分量实现的. 电压矢量所在的扇区、作用时间的求解

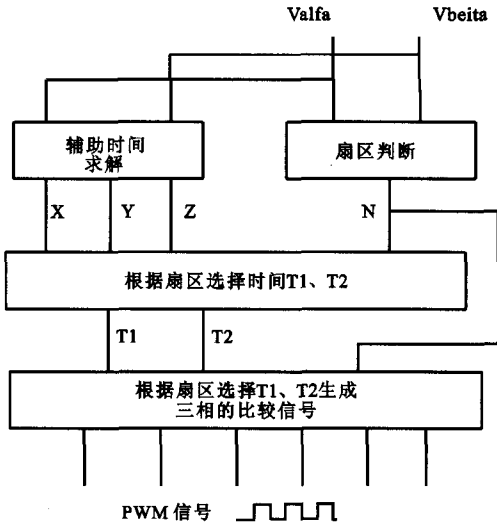


图1 SVPWM算法流程

均需要对正交分量进行复杂的运算得到. 为了避免运算量过大, 需要对这两个环节进行改进.

2.2 改进的 SVPWM 算法

在改进的 SVPWM 算法中, 扇区的判断根据电压矢量的角度值进行, 作用时间的求解利用三相定子电压之间的差值进行. 这种方法只需要选择和加减运算, 减少了计算的复杂度. 改进的算法如图 2 所示.

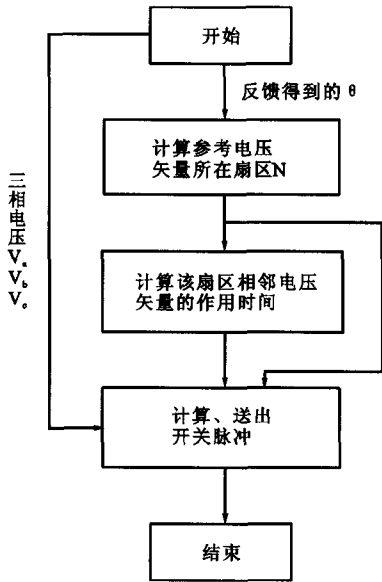


图2 改进的 SVPWM 算法

2.3 扇区判断

扇区的判断是 SVPWM 算法中的重要环节. SVPWM 算法中, 用来产生圆形旋转磁场的绕组中的正弦电流是由半导体开关控制调整直流母线电压得到的. 使用简单的三桥臂六开关的逆变器, 开关共有 8 个组合状态(上桥臂导通、下桥臂截止为 1, 上桥臂截止、下桥臂导通为 0), 对应于 8 个开关状态构成

8 个基本电压矢量, 其中包括两个零电压矢量(开关状态为 000、111), 6 个不为零的基本电压矢量将坐标系分成 6 个扇区, 如图 3 所示.

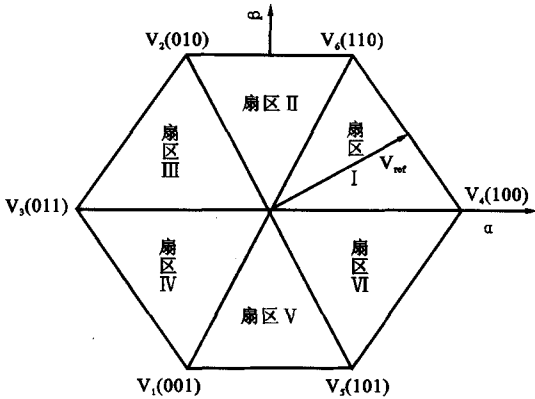


图3 电压矢量的分布图

不同时刻下, 电压矢量 $\vec{V}_{ref}$ 落在不同的扇区. 扇区的边界矢量由 6 个基本电压矢量构成. 电压矢量 $\vec{V}_{ref}$ 可以由其所处扇区的两个边界电压矢量相加得到. 控制 6 个半导体开关的状态就能得到期望的电压矢量 $\vec{V}_{ref}$.

$\vec{V}_{ref}$ 的角度 θ 值可以将整个坐标系划分为 6 个扇区, 如表 1 所示. 对应于电压矢量分布图, 扇区的判断可以根据 $\vec{V}_{ref}$ 的角度 θ 的值直接进行.

表1 扇区划分

扇区	θ 值范围
I	0 ~ 60
II	60 ~ 120
III	120 ~ 180
IV	180 ~ 240
V	240 ~ 300
VI	300 ~ 360

$\vec{V}_{ref}$ 所在扇区的判断, 可以直接利用公式(1) 进行.

$$N = res \left\{ \frac{\text{int}(\frac{\theta}{60})}{6} + 1 \right\} \tag{1}$$

N 为 $\vec{V}_{ref}$ 所在的扇区, θ 为 $\vec{V}_{ref}$ 的角度值.

2.4 电压矢量作用时间计算

通过扇区判断, 可以确定合成电压矢量 $\vec{V}_{ref}$ 的基本电压分量. 由图 3 可以看出, 在不同的扇区内, $\vec{V}_{ref}$ 由其所在扇区的边界电压矢量合成. 例如 $\vec{V}_{ref}$ 在第 1 扇区内, 那么, $\vec{V}_{ref}$ 是由 $\vec{V}_4$ 、 $\vec{V}_6$ 合成的.

$\vec{V}_{ref}$ 与其所在的扇区的边界电压矢量的关系为:

$$T \cdot \vec{V}_{ref} = T_i \cdot \vec{V}_i + T \cdot \vec{V}_{i+1} \quad (2)$$

T 为 $\vec{V}_{ref}$ 的作用时间, T_i, T_{i+1} 为下边界电压矢量和上边界电压矢量的作用时间. 恰当选择每个电压矢量的持续时间, 就能得到想要的 $\vec{V}_{ref}$, 从而得到圆形的旋转磁场.

对不同扇区里的 $\vec{V}_{ref}$ 进行理论分析可知, 合成 $\vec{V}_{ref}$ 边界电压矢量作用时间 T_i, T_{i+1} 可以通过在三个固定的变量 X, Y, Z 中根据 $\vec{V}_{ref}$ 所在的扇区进行选择得到. 变量 X, Y, Z 可以通过三相电压 V_a, V_b, V_c 两两做差的方式得到.

$$\begin{cases} X = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{V_{dc}} (V_b - V_a) \\ Y = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{V_{dc}} (V_a - V_c) \\ Z = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{V_{dc}} (V_b - V_c) \end{cases} \quad (3)$$

三相电压 V_a, V_b, V_c 只需知道 θ 和参考母线电压的幅值的值 V_{dc} 就能得到.

$$\begin{cases} V_a = \frac{2}{3} \cdot V_{dc} \cdot \cos\theta \\ V_b = \frac{2}{3} \cdot V_{dc} \cdot \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) \\ V_c = \frac{2}{3} \cdot V_{dc} \cdot \cos(\theta - \frac{4}{3}\pi) \end{cases} \quad (4)$$

改进的 SVPWM 算法中直接的利用三相电压两两之间的差值通过式(3)求解电压矢量持续时间的辅助变量, 可以节省传统 SVPWM 算法中电压合成与正交分解过程中带来的计算量.

3 仿真结果

控制系统模型的搭建是在 matlab/ simulink 下完成的^[4-5]. 电机选用软件自带的永磁同步电机. 测试结果由软件自带的测试模块得到. SVPWM 算法中主要包含 7 个模块, 如图 4 所示. 分别做了扇区的判断、持续时间辅助变量求解、时间选择、生成开关脉冲波形的工作.

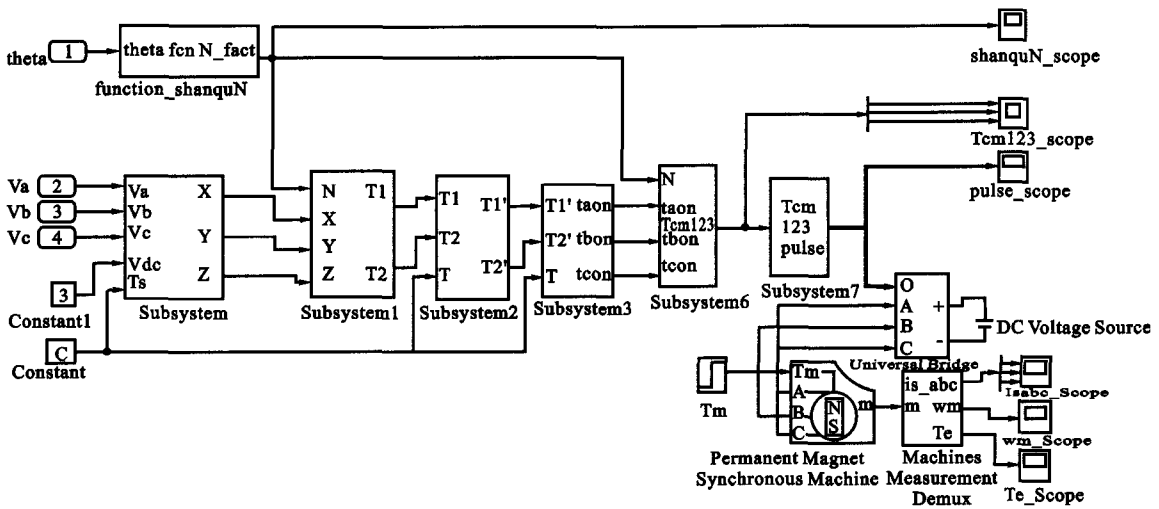


图 4 simulink 下的架构图

改进的 SVPWM 算法模块在扇区判断、电压矢量作用时间这两个环节上做了优化. 传统的 SVPWM 算法在扇区判断上需要 4 个计算模块, 电压矢量作用时间计算需要 3 个计算模块, 大部分模块均有复杂的矩阵变换, 每个模块均涉及复杂的计算过程. 改进的 SVPWM 算法在扇区判断上仅需要 1 个计算模块, 电压矢量作用时间计算也仅需要 1 个模块, 且每个模块中只涉及到简单的加减乘除运算. 两种算法所需模块的比较如表 2 所示.

扇区判断的仿真结果^[6]表明, 电压矢量 $\vec{V}_{ref}$ 的

角度值可由 simulink 自带的测试模块得到, 扇区按照从 1 到 6 的顺序进行周期变化.

电压矢量作用时间的仿真结果表明, 电压矢量作用时间呈马鞍形.

4 结束语

文中在 SVPWM 算法的重要环节进行了改进, 将扇区的判断、电压矢量作用时间的求解这两个环节用计算过程简单、运算量少的方法进行改进, 可以提高计算效率, 提高计算速度.

表 2 传统算法与改进算法模块比较

模块	传统 SVPWM 算法	改进 SVPWM 算法
扇区判断	V_a, V_b, V_c 合成 $\vec{V}_{ref}$	
	$\vec{V}_{ref}$ 正交分解为 V_α, V_β	根据估计得到的角度值 θ 判断 $\vec{V}_{ref}$ 所在的扇区
	V_α, V_β 构成辅助变量 V_1, V_2, V_3	
	根据 V_1, V_2, V_3 判断 $\vec{V}_{ref}$ 所在的扇区	
电压矢量作用时间	V_a, V_b, V_c 合成 $\vec{V}_{ref}$	
	$\vec{V}_{ref}$ 正交分解为 V_α, V_β	根据 V_α, V_b, V_c 求得作用时间 T_i, T_{i+1}
	根据 V_α, V_β 求得	
	作用时间 T_i, T_{i+1}	

参考文献:

[1] 王成元, 夏加宽, 杨俊友, 等. 电机现代控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
[2] 李世敬. 基于正弦波模式的高品质直流变频压缩机驱动模式的关键技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2001.

(上接第 124 页)

参考文献:

[1] Peter Mountney, Danail Stoyanov, Yang Guang-zhong. Three-dimensional tissue deformation recovery and tracking; introducing techniques based on laaroscopic or endoscopic images [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2010, 27(4): 14-24.
[2] Collins R T, Lipton A J. Introduction to the special section on video surveillance[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (8): 745-746.
[3] 谢晓飞, 邵斌. 运动车辆非正常路径的数学形态学检测研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(10): 131-133.
[4] Liu Guixi, Shao Mingli, Liu Xianhong, et al. Video moving object auto-extraction in real scene[J]. Acta Optica Sinaca, 2006, 26(8): 1150-1155.
[5] 郑江滨, 张燕宁. 视频监控中运动目标的检测与跟踪算法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(10): 34-37.

[3] Zhang Yihai, Wang Songsong, Xia Haixia, et al. A novel SVPWM modulation scheme[J]. APEC 2009 Twenty-Fourth Annual IEEE, 2009: 128-131.
[4] 严伟, 龚幼民. 空间矢量控制算法电路实现[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(7): 153-159.
[5] 祝琴, 钟祥微, 章鸿. SVPWM 原理及其 Simulink 仿真[J]. 电器技术, 2005(4): 49-51.
[6] 谭子尤, 唐圣学, 孟凡斌, 等. 位流 PID 控制器及其在直流电机中应用[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(2): 41-44.

作者简介:

毕 卉 女, (1985-), 硕士研究生. 研究方向为直流电机驱动算法、音频编解码算法及相关 DSP 应用.
任雁鹏 男, (1984-), 助理研究员. 研究方向为直流电机驱动算法、音频编解码算法及相关 DSP 应用.
梁利平 男, (1969-), 研究员, 博士生导师. 研究方向为高性能 DSP 及 SoC 设计.

[6] 刘亚, 艾海舟. 一种基于背景模型的运动目标检测与跟踪算法[J]. 信息与控制, 2002, 31(4): 315-319.
[7] Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]// IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Ft. Collins, CO, 1999: 246-252.
[8] 李冠军, 丁喆. 视频多运动目标提取的新方法[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(1): 141-143.

作者简介:

田鹏辉 男, (1975-), 博士, 讲师. 研究方向为地理信息系统、空间目标识别与跟踪.
隋立春 男, (1963-), 教授. 研究方向为影像分析、InSAR 及激光雷达数据处理等.
程少辉 男, (1973-). 研究方向为城市规划及设计.