

文章编号: 1006-2971(2010)05-0016-04

基于矢量变频技术的冰箱压缩机控制系统设计

蒋文奇¹, 沈希¹, 顾江萍¹, 黄跃进¹, 胡娟², 吴越³

(1. 浙江工业大学, 浙江 杭州 310014; 2. 加西贝拉压缩机有限公司, 浙江 嘉兴 314011; 3. 中国计量学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 介绍了一种小型制冷变频压缩机的驱动控制器, 该系统以永磁同步电机压缩机为控制对象, 采用无传感器矢量控制技术, 设计出了一套以 TM S320F2812 为核心芯片的矢量变频调速控制系统。经样机相关试验表明, 该控制系统具有较宽的调速范围以及良好的动静态性能。

关键词: 永磁同步电机; 矢量控制; 转子转速及位置估算; 电机启动

中图分类号: TH 45 文献标识码: A

The Design of Refrigerator Compressor Control System Based on Vector Control Technology

JIANG Wen-qi¹, SHEN Xi¹, GU Jiang-ping¹, HUANG Yue-jin¹, HU Juan², WU Yue³

(1. Zhejiang Industry University, Hangzhou 310014, China;

2. Jiaxing Compressor Co., Ltd. Jiaxing 314011, China; 3. China Institute of Metrology, Hangzhou 310018, China)

Abstract The paper has introduced a driver controller of small refrigerant compressor which took PMSM compressor as the control object and adopted the sensorless vector control technology. And a series of control system of vector variable frequency speed regulation based on TM S320F2812 as core chip is designed. At last a test on the compressor indicates that the control system has a wide speed range and good static and dynamic performance.

Key words permanent magnet synchronous motor; vector control; estimation of rotor speed and initial position; motor start

1 引言

目前小型压缩式制冷设备耗电量占了一般社会电力较大的份额, 仅家用冰箱的耗电总额就占社会电力的 6% 左右^[1], 加之全球能源的日益紧缺, 因此制冷设备的节能减排变得尤其重要。虽然目前传统的定频冰箱仍占据主要的市场份额, 但变频冰箱凭借其高效、节能等优点已逐渐走入人们的视野。其中基于矢控技术的变频冰箱运行效率比一般直流变频冰箱更高, 较 120° 矩形波技术相比, 效率提高 3%, 能耗降低 3%^[2], 压缩机运转更平稳, 噪声更低, 使用寿命更长, 因此矢量变频冰箱会越来越受到市场的青睐, 而其矢控技术也成为了研究的热点之一。

本文使用的变频压缩机的驱动电机是永磁同步电机, 因此对变频压缩机进行的一系列控制其实就是对永磁同步电机的控制。

2 永磁同步电机的工作原理

2.1 永磁同步电机的本体结构

永磁同步电机的转子为永磁体, 通常是由励磁绕组、磁极铁心、永磁磁钢及磁轭等部分组成。转子的作用是在电动机的气隙内产生足够的磁感应强度, 与通电后的定子绕组产生的磁场相互作用产生转矩以此来驱动自身的转动。根据永磁体在转子上安装位置的不同, 永磁同步电机可以分为两大类: 凸极式和嵌入式永磁同步电机。图 1 为两种永磁同步电机的结构示意图。

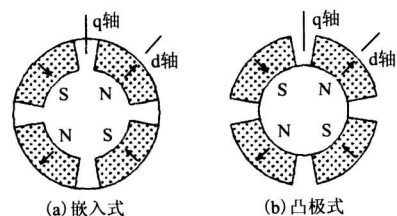


图 1 永磁同步电机的结构

2.2 永磁同步电机的运行原理

永磁同步电机的转子是具有两个极的永磁体, 当

收稿日期: 2010-05-28

基金项目: 浙江省杰出青年基金 (R106768);

浙江省重大科技专项资助 (2006C11002)。

给电机的绕组通上交流电时,则会产生一个旋转的磁场,当定子的旋转磁场以一定的同步转速旋转时,N极与S极互相吸引,定子的旋转磁极就会带着转子一起旋转^[3]。显然,转子的转速应与旋转磁场的转速相同,即同步,否则电机就会失步,失步与否跟定子的磁极轴线与转子磁极轴线间的夹角 θ 有关,而 θ 与负载的大小有关,因此只要电机的负载不超过一定限度, θ 在允许范围内变化,电机就不会失步。

3 永磁同步电机的无传感器矢量控制

为获得高性能的正弦波永磁同步电机驱动控制,通常需要转子位置传感器提供转子的确切位置,通过定子电流幅值和空间矢量控制,达到控制转矩的目的,从而完成高性能的矢量控制^[4]。但在家用冰箱中,永磁电动机处于密封的压缩机中,压缩机内温度高,且充满有腐蚀性的制冷剂,无法安装位置传感器,因此必须采用无传感器的控制方法。

3.1 永磁同步无传感器矢量控制策略分析

本文采用的是 I_d 的矢量控制策略,这是一种最简单的电流控制方法,由于电枢反应没有直轴去磁分量不会产生去磁效应,因此不会出现永磁同步电机退磁而导致电机性能变坏的现象,能保证转矩与电枢电流成正比。从电机的转矩公式中可以看出,在电机运行的过程中,只要保证 $I_d = 0$ 的情况下,d,q轴的电流分量就可以得到很好的解耦控制,使三相永磁同步电机的数学模型类似于他励直流电动机。

整个矢量控制系统由整流和逆变模块、SVPWM调制模块、位置和速度估算模块以及速度和电流环PI控制调节等5大模块组成。

具体控制过程是:先通过测量电机定子的两相电流 i_A 和 i_B ,通过坐标变化后可得到两相静止坐标下的检测电流 i_A 和 i_B 以及交直轴的检测电流 i_d 和 i_q 。通过滑模观测器模块后可以得到电机转子角位置和电机转速,将电机的给定速度与电机实际转速相比后,作为速度PI的输入,经调节输出交轴电流给定值 i_q^* 。直轴电流给定 $i_d^* = 0$ 。交直轴电流分别与各自的实际检测值相比较后,分别经电流PI调节,输出交直轴电压 u_q 和 u_d ,再经过Park逆变变化后,得到两相静止坐标下的电压值 u_a 及 u_b 。之后便是要确定 u_a 及 u_b 的合成矢量位于空间电压矢量所围成的6个扇区中的哪一个扇区内,选择合适的零矢量并计算该扇区内相邻两电压矢量以及零矢量各自占用的时间^[5]。从而设定DSP相应事件管理

器各寄存器的值,输出六路PWM驱动IGBT,产生频率和幅值可变的三相正弦电流,驱动永磁同步电机,实现完整的速度FOC控制。系统框图如图2所示。

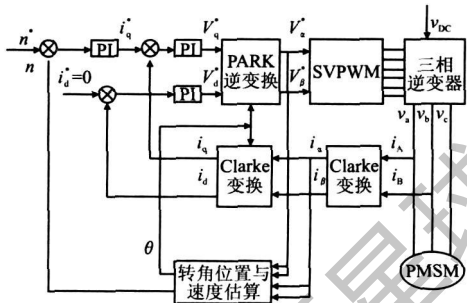


图2 IM SM无传感器FOC控制框图

3.2 控制系统的关键技术

3.2.1 滑模观测器

无传感器矢量控制系统中,电机转子位置的获取一般是通过对电机的电流、电压检测,然后根据观测器估算得到。本文采用的是基于电流滑模观测器的永磁同步电机FOC控制。

本文重点介绍观测器的软件实现,具体参数及模块设计见图3。

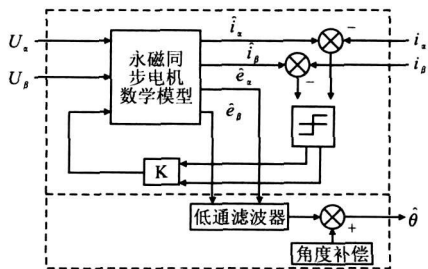


图3 滑模观测器模块

从构造的滑模观测器可以看出以定子。电流的误差为滑模面,当滑模观测器在滑模面上进行滑模运动时,即

$$e_a = K_{sw} \text{sign}(\hat{i}_a - i_a) \quad (1)$$

$$e_b = K_{sw} \text{sign}(\hat{i}_b - i_b) \quad (2)$$

式中 K_{sw} ——滑模系数

此系数的选取必须满足滑模可达性和存在性条件,否则观测器将不能进行滑模运动^[6]。sign函数为开关信号,包含着反电势信息,对其进行低通滤波后,就能得到连续的反电势如下

$$\hat{e}_a = \frac{\omega'}{S + \omega'} e_a \quad (3)$$

$$\hat{e}_b = \frac{\omega'}{S + \omega'} e_b \quad (4)$$

式中 ω' ——截止频率
进而可以得到估算角度

$$\hat{\theta} = -\arctan \frac{\hat{e}_\alpha}{e_\beta} \quad (5)$$

由于低通滤波器的引入,反电势的相位存在着相位延迟,且随运行频率而变化,因此需要对估算角度进行补偿

$$\Delta\theta = \arctan \frac{\omega}{\omega'} \quad (6)$$

在实际的调试过程中,建立一个补偿角度表格,在不同的转速情况下进行动态查表补偿,使估算更加精确。

3.2.2 电机启动分析

无位置传感器的永磁同步电机不能自启动,电机无法启动,就不能获取电流、电压信号,因此,对于采用无传感器技术的永磁同步电机控制系统来讲,电机启动问题的解决是一项关键技术。

由于启动时电机转子的初始位置未知,所以先要获得转子的初始位置。本文采用了“三段式”启动方案,控制系统先向电机输出一个恒定导通的 PWM 脉冲,即给一个方向设定的电压矢量,使电机产生一个恒定的直流转矩,把转子固定在一个已知的位置,然后再以此为启动位置,开环启动加速,当转子速度一般达到 600 r/min 以后^[7],电流、电压信号都已变得稳定,然后切换到闭环控制程序,利用设计的滑模观测器来估算转子的转速及位置。

试验过程表明在闭环程序的切换过程中,电机很容易失步,因此必须经过严格的试验数据比对,反复调整补偿估算初始角,使角度误差在允许范围内,才能实现开闭环状态的平稳切换,确保电机不失步。

4 永磁同步电机矢量控制硬件系统设计

控制系统以 TI 公司的 TMS320F2812 为电机控制核心芯片,主回路采用 SANKEN 公司的智能功率模块,为了保护系统的核心器件,功率驱动电路采用了光耦隔离方式,整个硬件系统(如图 4)由主电路、功率驱动电路、电流检测、电源、保护电路及通讯等模块组成。

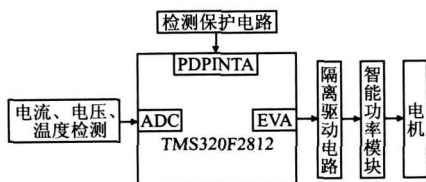


图 4 控制系统结构硬件图

系统供电电源为 220 V 交流电,通过整流和滤波电路转化为 310 V 左右的直流电供电给功率模块来控制电机,同时 310 V 直流电通过高频变压器产生一个 15 V 和 3.3 V 的线性电源供给驱动模块和 DSP 芯片工作^[8]。DSP 芯片根据设定产生一定频率和占空比的 PWM 信号,经过光耦隔离、驱动控制 IPM 智能模块,把直流变成交流,最终实现对电机的控制,系统中有电流霍尔传感器,用于实时监测电机的两相电流,通过采样、放大、调理、限幅后接入 DSP 的 AD 采样口。

4.1 采样电路设计

在无位置传感器的情况下,要获得转子的位置信息,就必须检测定子电流和直流侧母线电压。

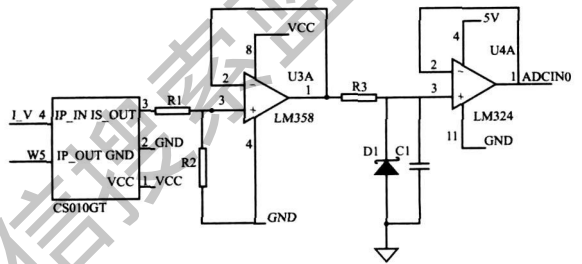


图 5 相电流检测电路

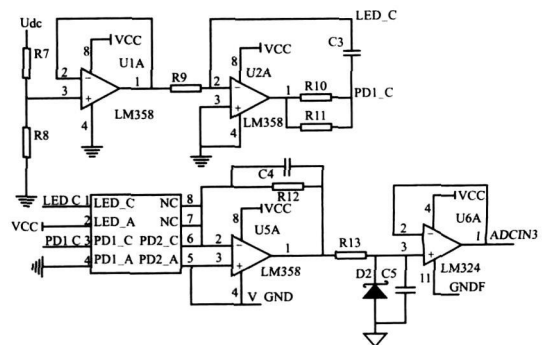


图 6 直流侧母线电压检测电路

考虑到转换速度和精度,系统采用 CS010GT 霍尔电流传感器来检测相电流,实现了无畸变、无延时的信号转换。由图 5 可见,先将电流霍尔传感器检测得到的电流经传感器内部转换成电压信号,然后经分压,再经过一级低通滤波及稳压后,最后输出到芯片的 A/D 口进行采样。

直流侧母线电压的检测采用了 HCNR 2000 线性光耦隔离采样方式,由图 6 可见,经分压、线性光耦,放大器、滤波稳压后,最后输出到芯片的 A/D 口进行采样。

(下转第 21 页)

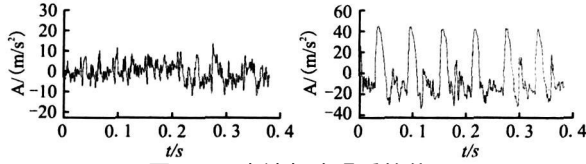


图 2 用小波包降噪后的信号

用改进的关联维数算法计算降噪后信号的关联维数。图 3 为正常工况下信号的关联积分曲线和关联指数曲线,图 4 为磨损工况下信号的关联积分曲线和关联指数曲线,表 1 为两种工况在不同嵌入维数下的关联指数, 阀片正常时的关联维数为 6.12, 阀片磨损的关联维数为 8.15。可见, 阀片在正常和磨损工况下的振动信号具有不同的关联维数, 关联维数可用于阀片故障特征的定量提取。

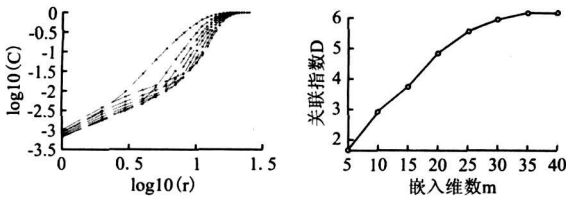


图 3 正常工况下的关联积分和关联指数

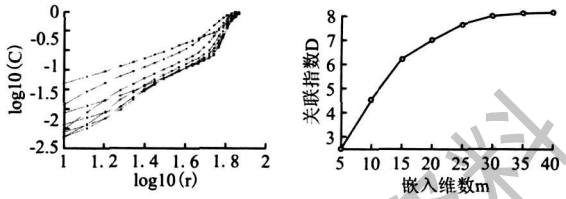


图 4 磨损常工况下的关联积分和关联指数

表 1 不同嵌入维数下的关联指数

m	5	10	15	20	25	30	35	40
D_1 (正常)	1.64	2.90	3.73	4.84	5.54	5.95	6.14	6.12
D_2 (磨损)	2.52	4.53	6.19	7.00	7.65	8.01	8.10	8.15

5 结论

小波包分解对小波分解时未分解的高频信号进行进一步分解,能揭示信号更为细节的信息,用小波包降噪能明显地滤除噪声, 这为关联维数的计算打下了基础。与标准的关联维数算法相比,改进的算法具有更高的计算效率, 计算时间大大减少。往复压缩机阀片在正常和故障工况下的关联维数明显不同, 可通过关联维数对阀片工况做定量识别。

参考文献:

[1] 刘树林, 张嘉钟, 徐敬强, 等. 基于小波包与神经网络的往复压缩机故障诊断方法 [J]. 石油矿场机械, 2002, 31(5): 1-3

[2] 余红英, 潘宏侠. 基于分形的机械故障诊断方法研究 [J]. 华北工学院学报, 2005, 26(2): 116-120

[3] 张昊. 语音数字信号增强处理及其 Matlab 实现 [J]. 通信技术, 2009, 42(01): 280-281

[4] GRASSBERGER P, PROCACCIA I Characterization of strange attractors [J]. Phys Rev Lett, 1983, 50(5): 346-349

[5] 李后强, 汪富泉. 分形理论及其在分子科学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 190-194

作者简介: 马宏泽 (1982-), 山东荣成人, 本科, 主要从事安全管理研究。

(上接第 18 页)

5 结论

实验结果表明, 使用矢量控制技术驱动的变频压缩机比 120° 矩形波技术驱动的变频冰箱压缩机效率提高 2% ~ 3% 左右, 功率器件开关次数更少, 直流电压利用率更高。方波驱动的变频压缩机在电子换相过程中, 换相电流回路对主电路的影响较大, 从而使压缩机转速和转矩波动较大, 影响了控制精度, 而基于矢量控制技术驱动的压缩机则不存在电流换相问题, 因此对压缩机的控制更为精确, 进而实现了对冰箱温度更为平稳的控制。由以上分析可见, 矢量变频冰箱具有一定的发展前景和市场潜力。

参考文献:

[1] 联合编写组. 国外机械工业基本情况 [M]. 机械工业出版社.

1982

[2] 信风. 海信空调矢量变频技术挑大梁法 [J]. 电器, 2006(3): 38-38

[3] 骆涵秀, 李世伦, 朱捷, 陈大军. 机电控制 [M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2003: 61-62

[4] 张开飞, 黄道. 基于 DSP 的变频压缩机 PMSM 数字控制系统 [J]. 装备制造, 2008(1): 60-63

[5] 顾军. 基于 DSP 的永磁同步电机无传感器矢量控制系统研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006: 22-23

[6] 吴春华, 陈国呈, 孙承波. 基于滑模观测器的无传感器永磁同步电机矢量控制系统 [J]. 电工电能技术, 2006(2): 1-3

[7] 李世敬. 基于正弦波模式的高品质直流变频压缩机驱动模块的关键技术研究 [D]. 上海: 同济大学, 2006: 61-63

[8] 黄跃进, 徐鸣, 沈希, 等. 基于直流变频技术的压缩机控制器设计 [J]. 压缩机技术, 2005(5): 20-23

作者简介: 蒋文奇 (1985-), 男, 浙江慈溪人, 硕士研究生, 研究方向为机电一体化技术, 矢量变频压缩机技术。