

中图分类号:TM341;TP273

文献标识码:A

文章编号:1007-9416(2021)11-0202-03

DOI:10.19695/j.cnki.cn12-1369.2021.11.64

# 基于DSP28335的永磁同步电机PI矢量控制系统设计

中科芯集成电路有限公司 洪锋 冒国均 陈国真

基于DSP芯片TMS320F28335设计了永磁同步电机的矢量控制系统并采用PI(比例-积分)控制器实现闭环控制,介绍了控制算法的软件实现流程和硬件电路设计。硬件电路包括角度检测反馈电路、电流检测反馈电路和驱动电路。通过电流环和速度环的阶跃响应实验,验证了该控制系统的有效性。该PI矢量控制系统简单有效、易于实现,有效的拓展了永磁同步电机在工程实践中的应用。

## 0 引言

永磁同步电机具有效率高、可靠性好、结构紧凑等优点,具有较好的动态响应性能和稳态运动精度,在精密平台、航空航天、电动汽车、轨道交通等领域得到了广泛的应用。

永磁同步电机优异的调速性能取决于控制策略的设计。矢量控制将三相交流电流转化为解耦的d轴和q轴电流的控制,受到了众多学者的青睐。文献<sup>[1-4]</sup>在矢量控制系统的基础上,分别采用电流预测控制器<sup>[1]</sup>、内膜控制器<sup>[2]</sup>、自抗扰控制器<sup>[3]</sup>、模糊控制器<sup>[4]</sup>来提高永磁同步电机的性能。然而,复杂控制器的设计会导致算法实现困难,极大的限制了其在工程实践中的应用。PI控制器结构简单,易于实现,在工业控制中得到了广泛使用<sup>[5-6]</sup>。

本文以DSP芯片为主控芯片,搭建了永磁同步电机的PI矢量控制系统,介绍了算法实现流程和硬件电路设计。通过电流环和速度环的阶跃响应实验,验证了控制系统的有效性。

## 1 PI矢量控制器及软件实现

### 1.1 PI矢量控制器

矢量控制在交流电机的伺服控制系统中被广泛使用。矢量控制将电机定子的三相交流电流( $i_a, i_b, i_c$ )等效成两相:励磁分量( $i_d$ )和转矩分量( $i_q$ ),分别调整 $i_d$ 和 $i_q$ 的值即可控制定子磁通和转子转矩的大小。在矢量控制中,将 $i_d$ 设为零,即保持定子磁通不变,只需要通过调节 $i_q$ 即可改变转子输出力矩的大小。

矢量控制系统框图如图1所示,包括坐标变换、电流环和速度环。坐标变换包括Clarke变换、Park变换和Park反变换。Clarke变换是将定子三相静止坐标系(A-B-C轴系)下的电流转化为两相静止坐标系( $\alpha-\beta$ 轴系)下的电流。Park变换是将两相静止坐标系下的电流转化为与电机转子同步运动的两相坐标系(d-q轴系)下的电流。在速度环中,电机的转动速度通过旋转变压器得到。通过调整PI控制器的比例增益和积分增益,根据速度误差即可得到q轴电流的输入指令 $i_q$ 。在电流环中,d轴电流的输入指令为零,q轴电流的输入指令为速度环的输出值 $i_q$ ,分别通过PI控制器的调节而得到 $\alpha-\beta$ 轴系下的输出电压值。最

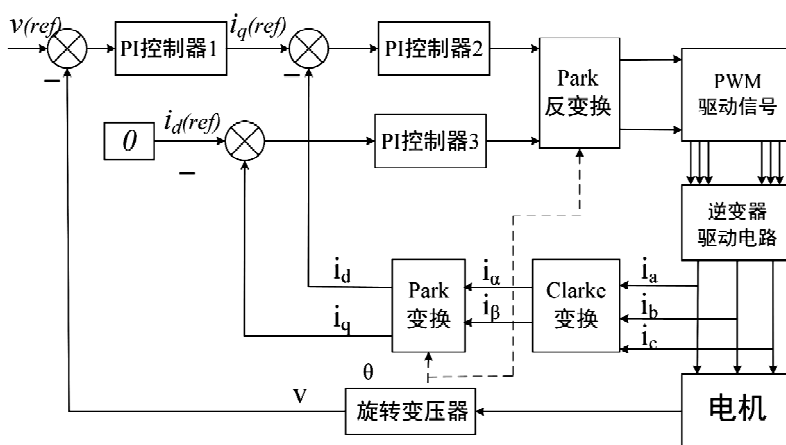


图1 PI矢量控制系统框图

Fig.1 Block diagram of PI vector control system

收稿日期:2021-08-11

作者简介:洪锋(1971—),男,福建泉州人,本科,工程师,研究方向:伺服系统。

通讯作者:陈国真(1989—),男,山东泰安人,博士,工程师,研究方向:电机伺服控制算法。



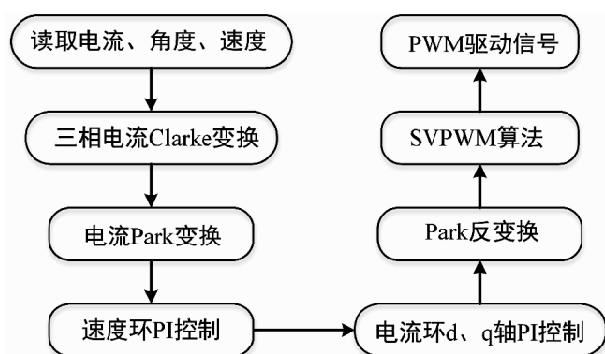


图2 软件程序实现流程

Fig.2 Software program implementation flow



图3 电机控制系统实物图

Fig.3 Physical drawing of motor control system

后,通过Park反变换和SVPWM(空间矢量脉宽调制)算法,即可得到电机的PWM驱动信号,通过逆变器驱动电机运动。

### 1.2 软件程序实现

在实验中,通过CCS提供的开发环境进行软件程序的编写。矢量控制的程序在中断函数中实现,具体流程如图2所示。(1)读取三相电流、角度和速度的反馈值;(2)将三相电流进行Clarke变换和Park变换,得到d轴和q轴的反馈电流;(3)通过PI控制器对速度环和电流环的速度误差和电流误差进行调节;(4)经Park反变换后通过SVPWM算法得到逆变器的PWM驱动信号,从而驱动电机运动。

## 2 硬件电路

硬件电路主要包括角度反馈检测电路、电流反馈检测电路和驱动电路。

### 2.1 角度反馈检测电路

角度反馈检测电路用于监测电机的转动角度和速度,反馈角度用于Park变换和反变换,反馈速度用于实现速度闭环控制。

在本文中,永磁同步电机采用科尔摩根公司生产的

AKM21G型产品,电机内部自带旋转变压器。采用亚德诺半导体公司的AD2S1210芯片来获得电机的转动角度和速度。AD2S1210是旋变数字转换器芯片,为电机的旋转变压器提供正弦波激励信号,芯片接收旋转变压器输出的正弦和余弦信号,并将其转化为角度和速度数据。

### 2.2 电流反馈检测电路

电流反馈检测电路用于监测永磁同步电机的三相电流,将其进行Clarke变换并实现电流环的闭环控制。

本文采用瑞士的莱姆电子有限公司(LEM)的霍尔电流传感器检测电机的三相电流,其型号为LAH25-NP。在电机的动力线中串联接入霍尔电流传感器,通过传感器的霍尔效应,得到相应的电压值,电压值的大小与电机的电流和采样电阻成正比。根据测得的电压值可计算得到电机的电流。

### 2.3 驱动电路

本文采用Mitsubishi Electric有限公司生产的PSS20S92F6-AG型逆变器来驱动永磁同步电机,逆变器内部含有过温检测保护电路。逆变器为三相电压型桥式逆变电路,可接收从DSP28335发出的六路控制信号。逆变器的输出电压,分别与电机的U、V、W三相连接,驱动电机转动。

## 3 实验验证

本文以Ti的DSP芯片TMS320F28335为主控芯片,搭建了永磁同步电机的PI矢量控制系统,如图3所示。在CCS提供的开发环境下,对控制算法进行了实验验证。永磁同步电机采用科尔摩根公司生产的AKM21G型产品,电机的极对数为3。通过电流环和速度环实验,验证了本文设计的矢量控制系统的有效性。

### 3.1 电流环

电流环PI控制器的比例增益和积分增益分别为0.25和0.3。在实验中,d轴电流目标值为零,q轴电流目标值为0.07(标么值),电流环的阶跃响应如图4所示。由实验结果可知,d轴和q轴的电流反馈值在目标值附近上下波动,验证了电流环控制系统的有效性。反馈电流的稳态误差相对较大,可通过逆变器的死区效应补偿进行改善。

### 3.2 速度环

速度环PI控制器的比例增益和积分增益分别为0.1和0.02。速度环的阶跃响应如图5所示,反馈速度值在目标

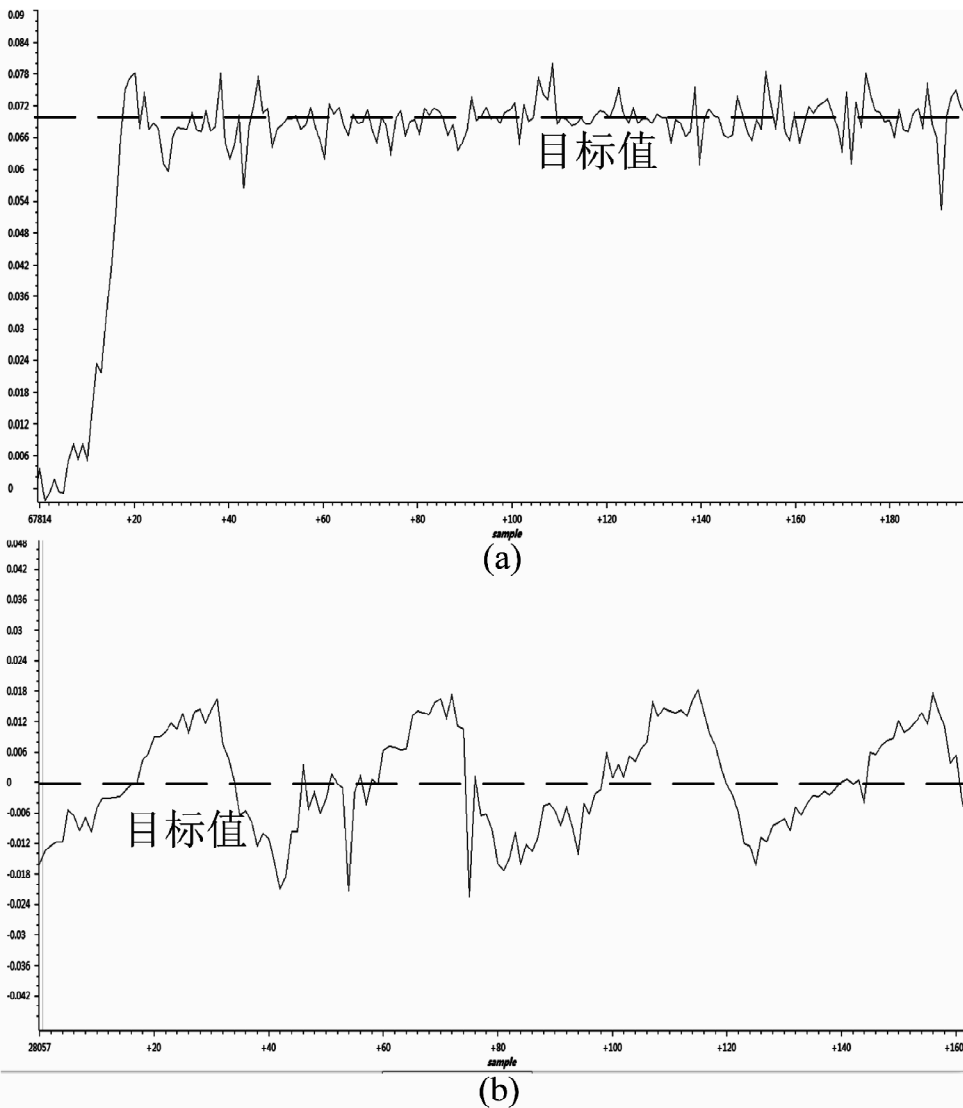


图 4 电流环阶跃响应实验:(a)q 轴;(b)d 轴

Fig.4 Step response experiment of current loop:(a)q axis;(b)d axis

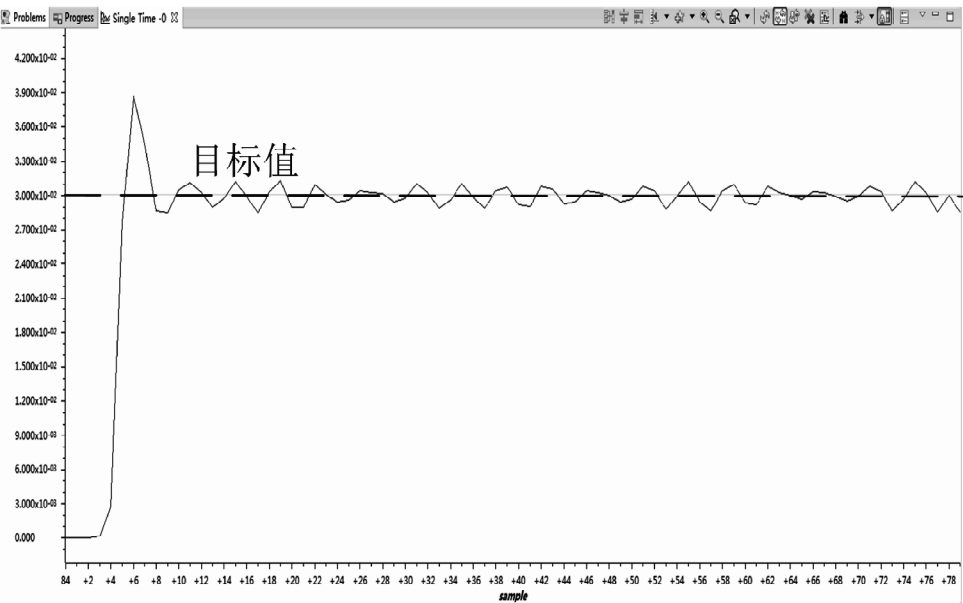


图 5 速度环阶跃响应实验

Fig.5 Speed loop step response experiment

值附近上下波动,验证了速度环控制系统的有效性。

4 结语

本文以Ti的DSP芯片TMS 320F28335为主控芯片,搭建了永磁同步电机的PI矢量控制系统,详细介绍了系统的软件算法实现和硬件电路设计。通过电流环和速度环的阶跃响应实验,验证了该控制系统的有效性。该方案具有较强的通用性,可在此基础上进行改进,广泛应用于电机控制的工程实践中。

引用

[1] 杜川.基于电流预测控制的永磁同步电机矢量控制策略[J].沈阳工业大学学报,2019,41(6):616-620.  
[2] 尹忠刚,张迪,蔡剑,等.基于三自由度内模控制的永磁同步电机矢量控制方法[J].电工技术学报,2017,32(21):55-64.  
[3] 曹正策,楚育博.基于自抗扰的永磁同步电机矢量控制系统[J].武汉大学学报(工学版),2020,53(1):67-71.  
[4] 陈文卓,靳文涛,马可.永磁同步电机双模糊矢量控制系统研究[J].电气传动,2019,49(8):7-10.  
[5] 王莉娜,朱鸿悦,杨宗军.永磁同步电动机调速系统PI控制器参数整定方法[J].电工技术学报,2014,29(5):104-117.  
[6] 崔业兵,左月飞,桂亮,等.基于复合PI控制器的永磁伺服电机电流控制[J].电机与控制学报,2019,23(4):105-110.