

电动车用异步电机矢量控制系统

Induction Motor Vector Controller Applied in Electric Vehicle

(北京交通大学) 陈东雷 吕健攀 张奕黄

CHEN Dong-lei LV Jian-pan ZHANG Yi-huang

摘要: 介绍一种以 DSP 为控制核心的异步电机矢量控制系统在电动车中的应用。介绍了系统结构及软硬件设计方案。实验结果表明,该系统精度高,实时性好,有较好的动态性能。

关键词: 矢量控制; 异步电机; 数字信号处理器

中图分类号: TM301.2

文献标识码: A

Abstract: Induction Motor Vector Controller Applied in Electric Vehicle is designed. The system structure and method for designing the software and hardware are introduced. The experimental results show that this control system has high control precision and a good real-time performance, and a good dynamic characteristic.

Key words: Vector Control; Induction Motor; Digital signal processor

1 引言

电动车驱动电动机有直流电动机、异步电动机、永磁无刷电动机和开关磁阻电动机。异步电动机具有体积小、结构简单、坚固可靠、成本低、易于维护等优点,并且随着变频调速技术的发展,让异步电动机的控制方法越来越完善,使异步电机有着优异的启动和调速性能,高效率、高功率因数和节能,有着广泛的应用范围。高性能的电动车普遍采用了异步电动机作为传动设备。

本文介绍了矢量控制原理、控制策略的实现,系统的硬件、软件实现。在电动游览车异步电机上进行了实验,取得了良好的效果。

2 矢量控制原理及控制方案

2.1 矢量控制的原理

矢量控制理论是从异步电机内部的机电能量转换、电机统一理论和空间矢量理论上发展起来的,理论基础严谨。它采用矢量分析的方法来分析异步电机内部的电磁过程,是建立在异步电动机的动态数学模型基础上的控制方法,从理论上正确解决了异步电机调速系统动态性能的控制问题,控制性能可以与直流电机调速系统媲美。

矢量控制通过坐标变换,将三相系统等效变换为 d-q 两相系统,将交流电机定子电流矢量分解成两个直流分量(即磁通分量和转矩分量),从而实现对异步电机的转矩控制和磁链控制的完全解耦,因而可获得与直流调速系统同样好的控制效果。

2.2 异步电机矢量控制方案

本文采用带基于电流模型反馈信号的转子磁链定向控制。如图 1 所示,此控制系统由转速控制外环和电流控制内环组成,转速控制环由用户给定的转速指令值 ω_r^* 与来自于电机轴上的光电编码器的转速反馈信号 ω_r 进行比较,将其偏差通过速

度 PI 调节器调整,并输出转矩分量电流作为内环转矩调节器的指令值,再与通过霍尔电流传感器检测到的三相定子电流经过 Clarke 和 Park 变换信号比较,经过转矩 PI 调节器,得到旋转坐标系下的定子转矩电压分量 u_{qs}^* 。电流控制内环中由励磁分量指令值 ψ_r^* (为零) 与检测到的定子电流经过 Clarke 和 Park 变换信号 i_{ds} 比较,经过 PI 调节器,得到旋转坐标系下的定子励磁电压分量 u_{ds}^* 再将 u_{ds}^* 和 u_{qs}^* 进行 Park 逆变换,变换到定子静止两相坐标系,获得与逆变器的电压空间矢量具有相同坐标系统的两个电压分量,最后利用空间矢量脉宽调制技术(SVPWM)产生逆变器开关导通状态的 PWM 波形。

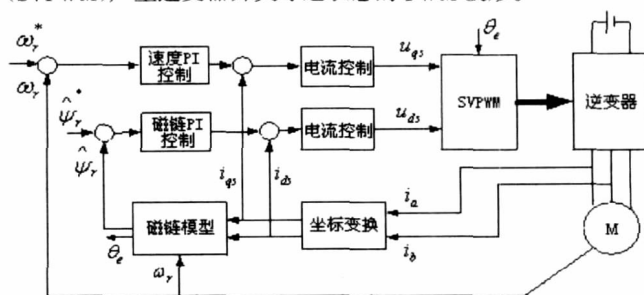


图 1 转子磁场定向的矢量控制框图

3 电动车系统硬件组成

该电动游览车采用的是 100V 5.5Kw 的 4 极异步电动机,额定转速为 1500r/min。采用 12 节 12V 大容量深循环铅酸蓄电池串联供电,额定电压为 144V。采用基于 DSP2407 的主控芯片的控制电路,逆变器容量 9kVA,逆变器输出电压 100V,逆变器效率 97%,逆变器输出频率 0~200Hz。

3.1 系统主电路设计

控制系统的主电路输入接 144V 直流蓄电池,该主电路由控制器通过控制六个开关管的开通关断产生 PWM 脉冲,来实现对直流电源的逆变,达到对异步电机变频调速的目的。

一般而言,直流储能电容设计应考虑两个方面的因素:其一,直流电容必须足够大,从而使三相逆变器直流侧具有较大

陈东雷:硕士

的输出阻抗,以抑制直流电压的脉动;其二,为使三相逆变器直流电压具有足够快的动态电流响应,直流电容的取值必须受到限制。因此,在车用电机驱动器的母线输入端,设置了滤波电容器。本文选用日立公司一个 $4700\mu\text{F}/450\text{V}$ 的电解电容并联在母线输入端。

缓冲电路用以控制关断浪涌电压以及续流二极管恢复浪涌电压。在某些应用中,缓冲电路通过提供附加的电流路径,使功率器件开关时的电压电流相互错开,以减少开关损耗。本文选用美国 CDE 无感电容,电容模块为一单元缓冲电容封装,构成缓冲电路。适用于中、小电容容量的 IGBT 模块,以吸收高反峰瞬变电压。其特点是:低介质损耗、低电感、有自修复能力、防火树脂封装,直接安装在 IGBT 模块上。

3.2 牵引控制系统

本文采用的控制系统采用了 TI 公司的 TMS320LF2407 芯片作为控制系统的核心。TMS320LF2407 的处理能力为 30MIPS,单指令周期仅为 33.3ns。它具有 32K 字的 FLASH 存储器,基于 FLASH 的芯片中有 256K 字的引导 ROM 使在线编程更加方便。TMS320LF2407 芯片具有两个事件管理器,由于电机数字化控制应用。该模块包括 PWM 发生器以及可编程死区控制,以防止桥式驱动主电路上下桥臂短路。事件管理器模块可以实现同步 10 位 A/D 转换功能,转换时间只有 500ns,提供多达 16 路的模拟输入,具有自动排序功能,使最大为 16 路的转换在同一转换期间进行而不会增加 CPU 的开销。

在本系统中使用了 EVA 模块产生 SVPWM 波形。事件管理模块中有正交编码脉冲(QEP)电路,在本系统就是利用它来完成速度检测的,测速在矢量控制系统中占有很重要的地位。所以本系统利用 DSP 的捕获功能 CAP6 和 QEP3、QEP4 正交编码脉冲电路,实现了 MT 法测速,从而保证了在低速和高速时测速的准确性。

逻辑控制单元采用 GAL22V10D 型可编程逻辑门电路作为控制芯片。触发脉冲 PWM1~PWM6 和超温、过压、过流信号都经过该芯片进行逻辑控制。当出现过压、过流的情况时实现对触发脉冲 PWM1~PWM6 的封锁,实现硬件级的保护;同时 GAL 输出一个保护信号 TMS320LF2407 的功率保护信号管脚,利用其功率保护中断封锁 PWM 波形,实现软件级保护。

基于 TMS320LF2407 DSP 的控制电路框图如图 2 所示。

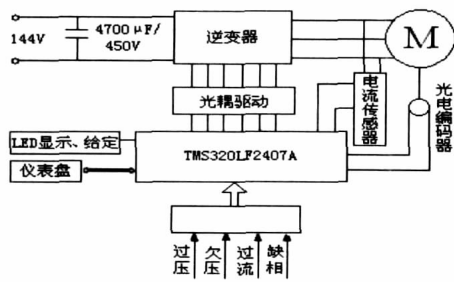


图 2 系统框图

4 矢量控制软件实现

用矢量控制可以很好的实现和直流电机一样的控制性能。矢量控制软件主要分为主程序部分和中断服务程序部分。主程序部分主要是完成系统初始化:设置 DSP 工作频率为 20MHz;I/O 初始化设置;EV 事件管理器初始化设置,调制频率为 10KHz,全比较 PWM 模式,死区时间设定为 4us;启动定时器

1、2、3,中断初始化设置。

具体流程图 4 所示:

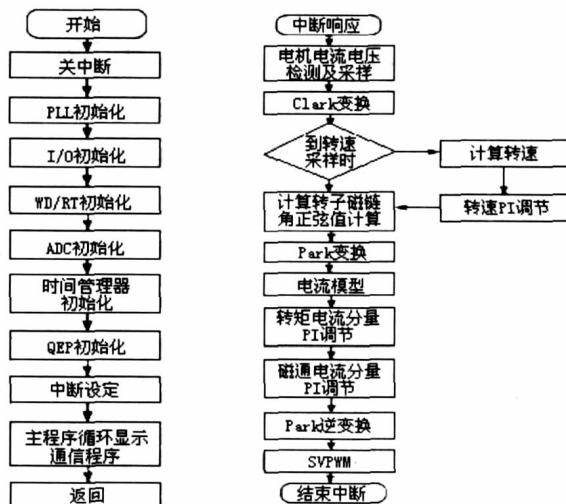


图 3 系统主程序流程图 图 4 中断服务程序流程图

DSP 系统产生的大部分波形是由中断服务程序来完成的。本系统中,通过 EV 模块设置内部定时器 1 的周期中断,周期数是 2000,采样周期为 $2000 \times 50\text{ns} = 100\mu\text{s}$,在此时间内完成系统一个采样周期的设定。中断服务程序部分主要是:速度给定采样;电机电流和电压采样;转速反馈采样;电流矢量变换;转子磁链位置计算;电流闭环 PI 调节;转速闭环 PI 调节;定子电压坐标 PARK 逆变换 SVPWM 实现。

5 试验结果

图 5 所示为异步电机在恒负载下,转速恒定时的电流波形。如图 6 所示,为异步电机在带负载下时,调节异步电机转速时的动态响应曲线;由实验结果可知,控制系统有着很好的动态性能,启动响应很快,恒负载时变转速,能快速平稳的变化,而且转速和转矩均能平稳稳定在给定的范围内,波动很小。

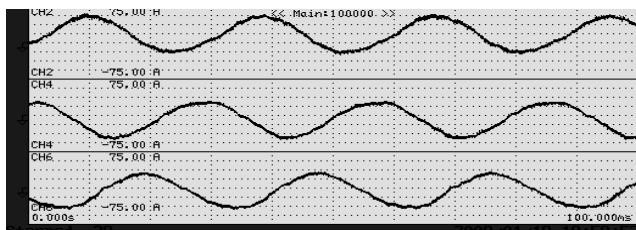


图 5 异步电机在恒负载(10N·M)、1000rpm 时的三相电流波形



图 6 异步电机在恒负载(50N·M)时的动态特性曲线

(下转第 66 页)

只需要一根传输线缆,即可将四个站连到一起,大大提高了设备的便携性。RS-485工作站的示意图如下

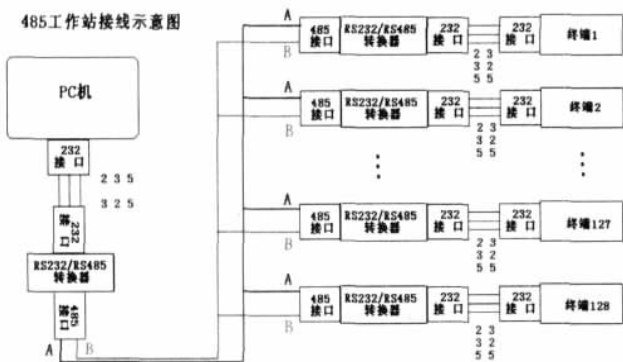


图4 RS-485工作站示意图

5 控制软件设计

控制软件的主要功能是：

- (1)实现俯仰、方位分时控制;
- (2)实现两单片机之间的相互通讯;
- (3)扫描按键输入;
- (4)中断接收测控计算机发出的控制指令;
- (5)分析控制指令;
- (6)产生符合频率要求的步进脉冲和转向脉冲;
- (7)实时显示和传送天线位置;
- (8)进行限位检测,防止过冲;
- (9)保存天线的位置等信息。

所有控制软件代码都是采用 MCS-51 汇编语言编写,可做到精确定时或延时,并可保证执行代码短,效率高

6 结论

该系统的最大优点是利用通用的 AT89C51 和 AT89C2051 实现了天线伺服系统的全数字高精度闭环控制,对步进电机进行了细分驱动,利用一套控制系统可以分时控制俯仰和方位运动,降低控制电路的复杂性,提高系统的可靠性。经实际测试,其定位精度小于 0.1 度,本伺服系统已装配到某型号的双通道微波辐射计产品上,实际使用证明,系统运行平稳,响应迅速,定位精度高。

本文作者创新点:

硬件结构设计:

- (1)采用了 RS485 接口设计,使得该伺服结构能与其它设备共用一个计算机串口,减少了线缆使用量,降低了布线难度;
- (2)在方位角 0 度和 360 度位置处使用了不同的光电开关,以确保伺服在方位上不会过冲,且使得方位定位更加准确。

软件设计:

- (1)使用软件设置站号,将伺服的数据与其它的数据区分开,便于上位机进行处理;
- (2)软件控制,使步进电机以曲线加速或减速,避免了由于机械结构的惯性给步进电机带来的损坏。

本设计在 2007 年带来了 100 余万元的经济效应。

参考文献

- [1]戴佳,戴卫恒. 51 单片机 C 语言应用程序设计实例精讲. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [2]章恒,朱纪洪,蒋志宏. 双通道伺服控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2007, 2-1: 110-111

[3]徐雅晖,程明霄,张玉华. 基于 80196 与 PBL3717 的步进电机控制系统[J]. 微计算机信息, 2007, 23(4-2): 123-125.

作者简介:刘佐兴:(1982-),男,汉族,河北,中国电波传播研究所研究生,嵌入式系统研究;郭华民:(1957-),男,汉族,河南,中国电波传播研究所高级工程师,研究生导师,主要从事电磁场传播理论研究;程显海:(1941-),男,汉族,河南,中国电波传播研究所高级工程师,研究生导师,主要从事电磁场传播理论研究。

Biography: LIU Zuo-xing(1982-), male, Han Nationality, He Bei, China Research Institute of Radiowave Propagation, Master, major in embedded system.

(266107 山东青岛 中国电子科技集团公司第 22 研究所) 刘佐兴 郭华民 程显海

通讯地址:(266107 山东省青岛市城阳区仙山东路 36 号中国电波传播研究所) 刘佐兴

(收稿日期:2009.05.23)(修稿日期:2009.06.25)

(上接第 5 页)

6 结束语

根据实验结果,验证了异步电机控制方案的切实可行性,其动态响应比较好。在现场调试中,该控制器用于电动游览车上使用时,启动、带载和调速性能良好,可靠性很强,满足了电动游览车基本的需求。

本文作者创新点:提出并设计了一种以电机控制专用芯片 TMS320LF2407A 为核心、空间电压矢量脉宽调制的矢量控制变频调速系统,该控制系统运行稳定,动态性能良好,是一种新颖、实用性很强的控制系统。

参考文献

- [1]陈伯时.电力拖动自动控制系统-运动控制系统.北京:机械工业出版社, 2003
- [2]汤蕴璆,史乃.电机学.北京:机械工业出版社, 1999
- [3]刘志刚,梁晖.电力电子学.北京:清华大学出版社, 2004
- [4]牛涛.异步电机矢量控制系统 DSP 软件设计[J].微计算机信息, 2008, 5-2: 164-165
- [5]Bimal K.Bose.Modern Power Electronics and AC Drives.机械工业出版社, 2003

作者简介:陈东雷(1985-),男,硕士,研究方向电机与电器。

Biography: CHEN Dong-lei born in 1985, male, the degree of master, the direct of research is Electric Machines and Electric Apparatus.

(100044 北京交通大学电气工程学院) 陈东雷 吕健攀 张奕黄

通讯地址:(100044 北京交通大学电气工程学院 202 室) 陈东雷

(收稿日期:2009.05.23)(修稿日期:2009.06.25)

书 讯

《现场总线技术应用 200 例》
55 元 / 本 (免邮资) 汇至

《PLC 应用 200 例》
110 元 / 本 (免邮资) 汇至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室
微计算机信息 邮编:100081
电话:010-62132436 010-62192616(T/F)