

电动汽车永磁无刷直流电动机全数字化控制

胡 伟, 何鸿肃

(广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510643)

摘要:介绍了电动汽车中永磁无刷直流电动机的全数字化控制系统, 重点讨论了用 TMS320LF2407 实现电动汽车驱动装置的全数字化控制, 其核心控制算法采用 PI 运算. 采用了 TMS320LF2407 后, 不仅简化了系统的外围设备, 降低了系统的功耗, 而且提高了系统的准确性和实时性, 获得了更好的控制效果.

关键词:电动汽车; 永磁无刷直流电动机; 数字信号处理器; 全数字化

中图分类号: TM571. 2

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2004)01-0013-04

20 世纪 60 年代人们开始对空气质量问题的关心及 70 年代的能源危机引发了人们对电动汽车研究的兴趣. 最近几年电动汽车的发展取得了惊人的进步. 作为电动汽车的驱动装置有交流机和直流机两种. 因直流电动机控制系统简单, 不需要逆变装置, 响应快速性好, 因而在早期被广泛的使用. 但是直流机采用电刷和换相器进行电流换相, 会产生电火花并有磨损, 加上直流机体积、重量都较大等缺点, 使人们一直在思索一种更好的驱动系统. 随着电力电子技术的迅速发展, 最近的电动汽车上已经开始大量的采用交流电机. 电动汽车中用的电机, 到目前为止主要是直流电机、改进了控制性能的感应电机和永磁无刷直流电动机并存. 永磁无刷直流电机同其它电机相比具有几个明显优点: ① 永磁无刷直流电动机没有电刷、而是利用电子换相, 故克服了任何由电刷引起的问题. ④ 永磁体安装在转子上、电枢绕组装在定子上, 故导热性能好, 产生的热量更容易散发出去; 结构也变得简单, 并且节省了空间使其磁场损失也得到了减少. ④ 它的效率与转速永远保持同步关系, 不会发生失步、震荡等现象^[1]. 它的起动、调速特性类似于直流电机, 控制简单, 同时也克服了同步机的缺点, 又具有功率因数好的优点.

1 TMS320LF2407 的基本结构

美国 TI 公司的 TMS320LF2407 是一款定点 DSP, 采用改进的哈佛结构, 将程序存储器和数据存储器的总线分开, 大大提高了运行速度和技术性能. 同时也提供了低成本、低功耗、高性能的处理能力, 对电动机的数字化控制非常有用. 几种先进的外设被集成到该芯片内, 以形成真正的单芯片控制. 该芯片具有两个事件管理模块, 用于电动机数字化控制应用. 事件管理模块包括中间或边缘对齐的 PWM 发生器及可编程的死区控制性能. TMS320LF2407 还提供了 CAN 通信模块, 该模块符合 CAN2.0B 的规范要求. 同时 TMS320LF2407 是基于 TMS320C2XXDSP 的 CPU 核, 保证了其代码的兼容性^[2]. 用 TMS320LF2407 实现全数字化控制有利于减小控制器的体积, 为电

收稿日期: 2003-06-02

基金项目: 广东省科委攻关项目(960023)

作者简介: 胡伟(1977-), 男, 在读研究生, 主要研究方向为数字控制、DSP 应用.

动汽车的实际应用提供了条件. 本文主要对用 TMS320LF2407 实现电动汽车驱动装置的全数字化进行探讨.

2 电动汽车驱动装置的组成

电动汽车中的永磁无刷直流电动机, 是用装有永磁体的转子取代有刷直流电动机的定子磁极, 用有多项绕组的定子取代电枢, 用固态逆变器和磁极位置检测器组成电子换向器和电刷, 就得到了电动汽车中的永磁无刷直流电动机. 电动汽车中的永磁无刷直流电动机的组成框图如图 1 所示^[3].

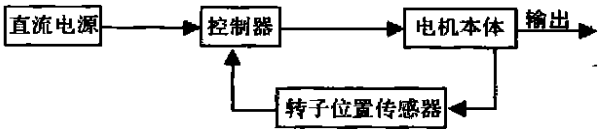


图 1 永磁无刷直流电动机构成框图

3 电动汽车驱动装置全数字化

基于 TMS320LF2407 的无刷直流电动机控制系统主要由电路功率驱动逆变逻辑控制电路及保护电路等组成, 其控制系统硬件构成如图 2 所示^[4].

本控制系统采用 PWM 方式实现对电动汽车驱动装置——永磁无刷直流电动机控制, 其基本原理是由蓄电池组提供直流电源, 经过 IGBT 变流后为无刷直流电动机供电, 力矩给定由 DSP 的 CAN 口输入与反馈回来的电流信号进行 PI 运算, 以控制 PWM 波产生, 通过调整 PWM 波的脉宽宽度, 实现对无刷直流电动机的控制. 同时一旦产生过流等故障, 通过 PDPINT 引脚产生中断, 进入故障保护中断处理子程序, 封锁 PWM 波的输出直至故障消除.

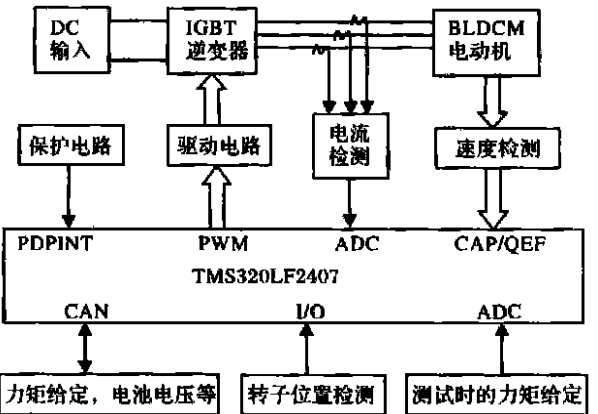


图 2 控制系统的硬件框图

转子位置检测是永磁无刷直流电机控制中的重要内容, 它决定着电机的正确运转与否, 根据转子的位置, 导通相应的电枢电流, 使稀土永磁无刷直流电机正确运转, 其转子位置与电枢电流的关系如表 1. 本设计所采用的光电编码盘自带转子位置检测装置, 与 DSP 上的 I/O 口直接相连, 用来进行速度和转子位置的检测.

电动机转速的信号由光电编码盘进行检测, 光电编码盘检测到的信号经由 TMS320LF2407 的正交解码(QEP)电路送入到 DSP 中, DSP 进行正交解码运算得到电动机的转速. 本设计中的检测值并不用于进行反馈, 主要是用于电动汽车仪表盘上的速度显示, 以便使司机知道电动汽车的行驶速度.

由于无刷直流电动机相当于具有 3 片换向器的直流电动机. 因此具有与直流电动机相似的转矩与感应电动势公式, 根据公式可以对永磁无刷直流电动机进行有效的转矩和速度的控制.

感应电势的公式为

表 1 转子位置与电枢电流关系表

BLC1	BLC2	BLC3	I_v	I_u	I_w
1	0	0	$-I_g$	I_g	0
0	1	1	I_g	$-I_g$	0
0	1	0	I_g	0	$-I_g$
1	0	1	$-I_g$	0	I_g
0	0	1	0	$-I_g$	I_g
1	1	0	0	I_g	$-I_g$

$$E = 2Nl r B \omega. \tag{1}$$

转矩公式为

$$T = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} - \frac{1}{2} B_2 \frac{dR}{d\theta} + \frac{4N}{\pi} B r l \pi i. \tag{2}$$

式中: N —电动机每相的匝数; l —转子的长度; r —转子的内径; B —转子的磁通密度; ω —电动机的角速度; L —自感系数; θ —转子的转角; R —相电阻; i —电动机的电流.

在转矩的公式中, 前两相为磁阻转矩部分, 第三项为电磁转矩部分, 也就是无刷直流电动机产生的转矩部分. 通过公式可以看出, 无刷直流电动机的感应电势与电动机的转速成正比, 永磁无刷直流电动机的转矩与电枢中的电流成正比, 通过控制电流的大小就可以达到调整转速的目的, 由此可得到无刷直流电动机的电流控制系统框图, 如图 3 所示.

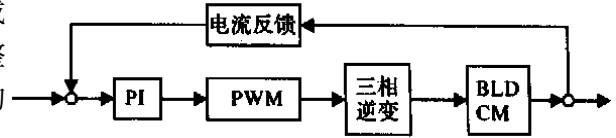


图 3 永磁无刷直流电动机电流控制框图

3.1 电流检测

霍尔传感器用于检测主回路上的电流, 霍尔传感器的信号经过 DSP 的 ADC 单元的转换, 变为数字化的电流信号. 在新 PWM 波产生之初, 载入电流检测值, 并与给定的参考电流值一起控制 PWM 波宽度, 从而产生新的 PWM 波. 同时, 当电流检测值超过所允许的最大值时, 发出中断信号并执行相应的中断处理子程序, 既启动过流保护程序, 封锁所有的驱动信号, 直到故障解除为止.

3.2 力矩给定

因为人们已经习惯了传统的汽车驾驶习惯, 故本设计的速度给定采取了一种全新的给定方式——力矩给定, 司机通过踩动油门产生力矩给定信号, 力矩给定信号经过变换后变换为电流信号, 通过 TMS3202407 的 CAN 口送入到 DSP 内部, 与反馈回来的电流信号进行 PI 运算进行对电动机转速的调节.

3.3 电流(转速)的调整

反馈电流信号与力矩给定的信号相比较得到电流(速度)的误差, 通过一个简单的 PI 算法可得到新的电流值:

$$I_k = I_{k-1} + k_p (E_k - E_{k-1}) + K_i T E_{k-1}. \tag{3}$$

式中: I_k —速度调节器的输出电流; k_p —比例系数; K_i —积分系数; T —速度采样周期; E_k —当前时刻的感应电势值; E_{k-1} —前一时刻感应电势值.

根据上面的公式就可以对电流(转速)进行相应的调节, 其电流(速度)调节的 PI 子程序如下:

```
PI:  LDP      # DP_B01      SFL                      MPY      TEMP3
      SETC    SXM          ADD      EK_a 1      PAC
      LACL    EK          SACH    TEMP2        SACH    TEMP3
      SUB     EK_a 1      LT      K1          RPT      # 4
      SACH    TEMPI      MPY      T          SFL
      LT      KP          RPT      # 4        ADD      TEMP2
      MPY     TEMPI      SLF                      SACH    RESUL
      PAC                      SPH    TEMP3    RET
      RPT      # 4        LT      EK_a 1
```

电流的调整过程也就是 PWM 的产生过程. 通过调整 PWM 波的宽度就可以调整电流的平均值. PWM 波的宽度由参考电流 I_r 与检测电流 I_m 的电流差决定.

$$I_e = I_r - I_m, \quad (4)$$

$$d_n = d_0 + I_e K. \quad (5)$$

式中: I_r —参考电流; I_m —检测电流; I_e —参考电流与检测电流的电流差; d_n —调整后的脉冲占空比; d_0 —调整前的脉冲占空比; K —比例系数.

I_e 经过 PI 调节器产生一定宽度的 PWM 波. 电流误差 I_e 的大小正负决定了 PWM 波的宽度. 当 I_e 等于零时, PWM 的宽度不变, 当 I_e 过大即参考电流大于实际电流很多时, 就令 PWM 的宽度为控制周期, 此时输出最宽的 PWM 波, 以最快的速度增大转速; 当 I_e 过小, 既参考电流小于实际电流很多时, 就令 PWM 的宽度为零, 此时以最快的速度降低转速. 由 TMS320LF2407 的事件管理模块的 PWM 引脚输出六路 PWM 波, 用以控制功率逆变器开关模式, 进而控制永磁无刷直流电动机的转速.

3.4 CAN 控制模块的应用

CAN 最初是由德国 Bosch 公司为汽车的监测、控制系统设计的. 由于 CAN 具有独特的设计思想, 良好功能特性和很高的可靠性等特点, 其在国内外工业测控领域已经有了广泛的应用. 在 TMS320LF2407 芯片上集成了 CAN 总线接口, 本设计主要是应用 CAN 总线进行 DSP 和电源电压等辅助的系统进行通讯, 以实现彼此之间的数据交换. 邮箱 0, 1, 2 作为发送邮箱, 用于发送电动汽车的速度、系统的状态等信号给相应的设备. 邮箱 3, 4, 5 作为接收邮箱, 用于接收力矩给定、电池电压等信号. 实践证明应用 CAN 总线进行通行可以提高通讯的速率和准确性, 从而提高电动汽车驱动装置的控制性能.

4 结论

(1) 采用 TMS320LF2407 为核心组成的电动汽车驱动装置控制器, 用很少的外围芯片就可实现很好的控制性能, 具有很高的性价比. 同时因为采用了较少的外围芯片, 所以控制器的体积大为减小, 有利于在电动汽车上的安装.

(2) 由于 TMS320LF2407 具有很强的数据处理能力, 因此由它作为核心的控制器具有很好的实时性和很好的抗干扰能力, 为电动汽车的实现提供了条件.

参考文献:

- [1] 刘勇. 电动汽车用的永磁无刷直流电机控制器的研制[D]. 广州: 华南理工大学, 1998.
- [2] 刘和平, 严利平, 张学峰, 等. TMS320LF470XDSP 结构、原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [3] 李钟明, 刘卫国, 刘景林, 等. 稀土永磁电机[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [4] 边晓, 张祺. 无刷直流电机调速系统设计[J]. 微特电机, 2001, (5): 19-20.

(下转第 34 页)

Application of MAX274/275 in Digital Filter Based on Window Function

WANG Fei, ZHANG Miao, FENG Duo-sheng

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: This paper analyses the reason why digital filter can not filter out higher harmonic completely and puts forward MAX274/275 as preposition filter and introduces it in detail.

Key words: digital filtering; window function; active filtering; harmonic

(上接第 16 页)

Fully Digitized Control of Electric Vehicle Permanent Magnet Brushless DC Electrical Machines

HU Wei, HE Hong-shu

(Faculty of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643 China)

Abstract: This article introduces a digital control system of permanent magnet brushless DC electromotor in electric vehicles, and lays emphasis on discussing the realization of the digital control of driver in electric vehicles with TMS320LF2407. The DSP is used in fewer external components and lower system cost and improves veracity and real time of DC motor. Better control effect is achieved.

Key words: electric vehicles; PM brushless DC electrical machines; DSP; fully digitized