

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.05.026

基于 MC9S12XS128 的汽车电动助力 转向控制器*

吴庆淼¹, 刘振华², 陈 啸², 李仁庆²

(1. 浙江尤奈特电机有限公司, 浙江 金华 321300; 2. 浙江工业大学 车辆工程研究所, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对 EPS 系统中存在有刷电机效率低、可靠性差的问题,采用永磁无刷直流电机作为助力电机;同时基于 EPS 系统的构成和工作原理,设计了 MC9S12XS128 型主控芯片为控制器内核的硬件电路,主要包括电机驱动电路、信号采集电路和最小系统电路;在助力电机的控制策略方面,结合 EPS 系统的助力控制目标,采用增量式 PID 算法控制电机扭矩;在程序设计方面,采用模块化的编写方式调试了 EPS 控制器的主程序以及各个模块的子程序,并添加了 CAN 通信模块以实现 EPS 控制器与整车的数据传输;最后对控制器进行了台架助力试验检测控制器和助力电机的运行情况,实验所测到的最大助力扭矩与设计最大助力扭矩误差小于 1%。实验结果表明,无刷助力电机助力性能良好,达到预期助力目标,且控制器工作正常。

关键词:电动助力转向;无刷电机;CAN 通信;增量式 PID

中图分类号:TP273;U463.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)05-0638-05

Controller of the vehicle electric power steering system based on MC9S12XS128

WU Qing-miao¹, LIU Zhen-hua², CHEN Xiao², LI Ren-qing²

(1. Zhejiang Unitemotor Co. Ltd., Jinhua 321300, China, 2. School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the low efficiency and poor reliability of the brush motor in EPS system, the permanent magnet brushless DC motor was used as the power motor. Based on the composition and working principle of the EPS system, the hardware of the EPS controller was designed with MC9S12XS128 as its core, mainly motor drive circuit, signal acquisition circuit and minimum system circuit. In the field of motor control strategy, the EPS system power control object was analyzed, the incremental PID algorithm was used to control the motor torque, and modular program was used to debug the EPS controller main program and each module subroutine, CAN communication module was added to achieve EPS controller and vehicle data transmission. At last tested the EPS controller with bench power experiment, the maximum assist torque error between experimental and design was less than 1%. The results indicated that the brushless DC motor has good power characteristic and achieve the desired goal, the controller is working properly.

Key words: electric power steering(EPS); brushless DC motor; CAN communication; incremental PID

0 引 言

由于节能环保、效率高、路感好的优点,电动助力转向系统成为汽车转向系统发展的方向。助力电机是 EPS 控制器的助力来源,影响 EPS 控制器的性能,目

前市场上的 EPS 多采用有刷电机,而有刷电机噪声和发热都比较大。与其相比,永磁无刷电机具有运转噪声低,转矩波动小的优点,在 EPS 控制器上的应用日益广泛。J. H. LEE 等^[1]针对永磁同步助力电机研究了无电流传感器的电机控制策略,并通过死区补偿来

收稿日期:2015-09-30

基金项目:浙江省科技计划重点研发项目(2014C01096);浙江省重点实验室计划项目(2013E10031)

作者简介:吴庆淼(1961-),男,浙江兰溪人,工程师,主要从事电动汽车电驱动系统方面的研究。E-mail: wuqingmiao@unitemotor.com

减少输出电压与目标电压之间的偏差,实现了硬件电路的简化;Cristian Chitu 等^[2]设计了基于 LQR(线性二次调节器)的 EPS 控制器并进行硬件在环仿真,实现了基于无扭矩传感器的电机控制;吕英超等^[3]提出了 ismax 控制和 usmax 控制两种弱磁控制策略以解决急速转向时转向盘沉重的问题,并进行了仿真和台架试验;李志鹏等^[4]针对 EPS 系统非线性多输入多输出的系统特点,在应用无刷直流电机的基础上,采用 H_{∞} 控制方法设计 EPS 控制器。目前国内外学者的研究多侧重于电动助力转向的动态分析和仿真,而对无刷直流电机助力式 EPS 控制器研究较少。

本研究基于 MC9S12XS128 型主控芯片设计 EPS 控制器的硬件和软件部分,并添加 CAN 通信模块进行整车通信,为 EPS 控制器开发以及 EPS 参与整车 CAN 通信的开发提供一定的参考。

1 EPS 结构和工作原理

EPS 是一个典型闭环控制系统,由传感器、执行机构、控制器三个部分组成。其中,传感器提供方向盘扭矩信号、车速信号和点火信号,执行机构是助力电机,负责输出目标扭矩,控制器是本研究重点,负责接收传感器信号并发送指令给执行机构,同时采集助力电机电流作为反馈信号,控制助力电机输出力矩。

EPS 系统框架如图 1 所示。

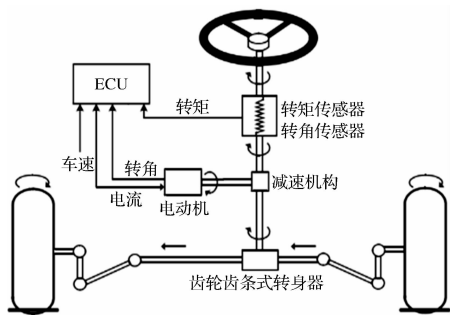


图 1 电动助力转向系统结构

其基本工作原理为:驾驶员操纵方向盘转向时,ECU 根据检测到的方向盘扭矩信号和车速信号以及点火信号判断汽车的转向状态,通过晶体管组成的电机驱动电路控制电机电流的大小和方向,使转向电机产生相应大小和方向的助力转矩,同时将电机电流信号作为反馈信号送到 EPS 控制器形成闭环控制,助力转矩经过减速机构减速增扭,协同驾驶员进行转向操作^[5]。

2 EPS 控制器硬件设计

2.1 MC9S12XS128 芯片介绍

MC9S12XS128 是由飞思卡尔公司生产的汽车级 16 位微处理芯片^[6],片内有 128 KB Flash EEPROM 存储空间,8 KB RAM 运行内存,满足整套 EPS 控制程序

的存储与运行需求;8 通道 12 位精度的 A/D 转换模块;8 通道 8 位精度 PWM 模块;1 个 MSCAN 通信模块,兼容 CAN2.0A/B 协议;内置锁相环硬件模块,具备内部超频功能,加快软件运行速度的同时减少对其它器件的电磁干扰,使控制器整体运行更加稳定。

2.2 EPS 硬件电路构架

从 EPS 控制器的功能需求出发,控制器内部电源模块将车载 12 V 电源电压转化为 5 V,满足 MCU 和方向盘扭矩传感器用电需求。MCU 接收来自方向盘扭矩传感器的电压信号、来自车载 CAN 网络的点火信号和车速信号以及电机转子位置信号和电机电流反馈信号,可向 MOSFET 驱动芯片输出 6 路 PWM 信号控制芯片的导通。驱动芯片将驱动信号放大后控制由三相桥电路组成的逆变模块,再由逆变模块将 12 V 直流电整流为三相交流电,驱动电机运转。电流检测模块用于实时采样电机电流大小,经运算放大器放大滤波后转换为电压信号,一路供给驱动芯片用于硬件过流保护,一路供给 MCU 用于软件过流保护和电机电流闭环控制。

本研究设计的控制器硬件构架如图 2 所示^[7]。

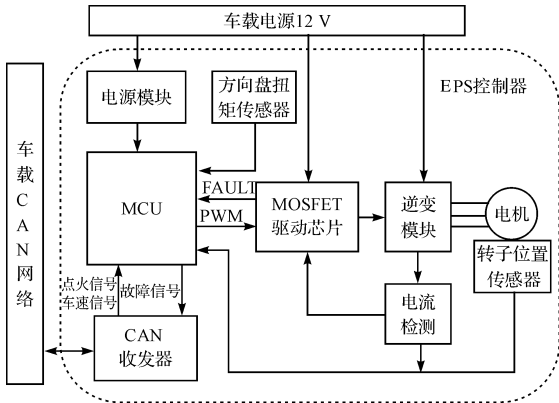


图 2 EPS 控制器硬件构架

2.3 EPS 硬件模块设计

根据 EPS 的硬件构架,EPS 控制器的主要硬件电路包括:单片机最小系统(MCU)电路,电机驱动电路、霍尔信号采集电路、CAN 通讯电路、电流采样电路、电流模块和过流保护电路。其中霍尔信号采样电路、CAN 通讯电路和电机驱动电路以及核心系统板电路是本系统的关键模块。

2.3.1 信号采集电路

电动助力转向控制器采集两路霍尔信号,分别是方向盘扭矩信号和电机转子位置信号。其中方向盘扭矩信号由安装在助力转向器总成中的扭矩传感器提供,输出电压范围 0.4 V ~ 4.6 V,直接输入单片机 I/O 口进行模数转换。电机转子位置信号通过上拉电阻实现 0 V 或 5 V 的方波信号,经施密特触发器 74HC14 反转后再输入单片机 I/O 口并触发中断。

电机转子位置霍尔信号采集电路如图 3 所示。

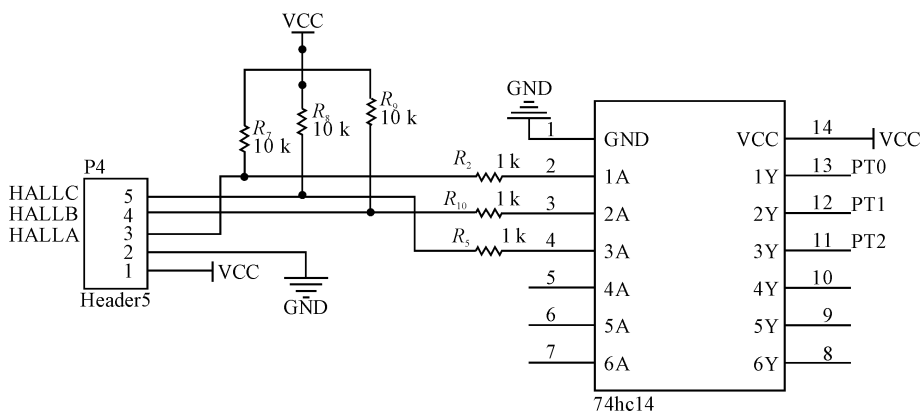


图3 转子位置采集电路原理图

$R7 \sim R9$ 为霍尔上拉电阻,PT0~PT2为单片机输入捕捉端口。

2.3.2 CAN 通讯电路

MC9S12XS128 型单片机内置 MSCAN 模块,支持 CAN2.0A/B 协议,只需增加 CAN 收发器即可为控制

器模块与整车 CAN 网络的通信提供硬件基础,通过 CAN 网络可得到整车的点火信号和车速信号。EPS 控制器的 CAN 通讯电路原理图如图 4 所示。

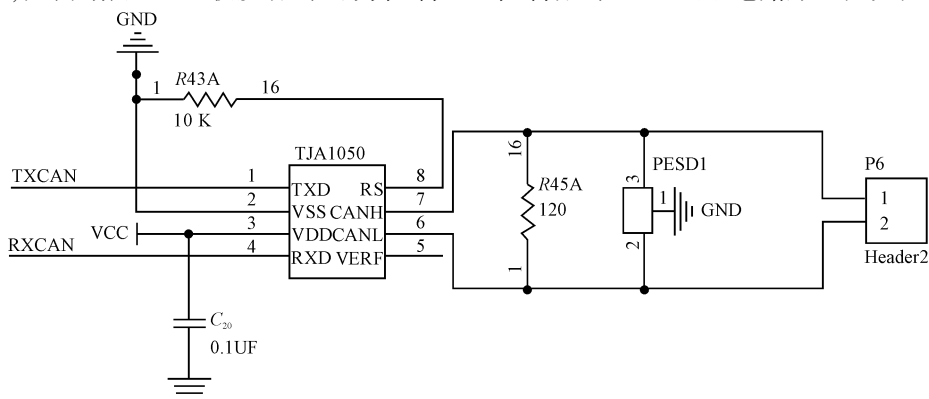


图4 CAN 通信电路原理图

2.3.3 电机驱动电路设计

系统采用的三相永磁无刷直流电机,其额定电压 12 V,最大助力电流 45 A,开关频率 10 KHZ,采用 MOSFET 作为电子开关,其中 IR 公司的 IRF2807 型 MOSFET 管,导通电阻 13 mΩ,额定导通电流高达 82 A,工作温度范围 -55 ℃ ~ 175 ℃,最大工作电压 75 V,完全满足助力转向系统的驱动要求。由于单片机无法直接驱动 IRF2807,本研究采用 IR 公司的 IR2136 三相桥专用驱动器将驱动电流放大后再控制电子开关切换。IR2136 芯片具有 3 组独立的高压侧和低压侧输出通道,其内部采用自举技术,仅需一个直流电源即可驱动 6 个 MOSFET,简化了驱动电路设计,同时具有硬件过流保护和欠压保护功能。内置故障恢复时间设置接口、故障查询接口和输出开关接口,单片机可监控驱动芯片工作情况,及时检测芯片故障,必要时可通过软件关闭其输出。

ITRIP 管脚为 IR2136 的过流保护管脚,当该管脚电压达到 0.46 V,将关闭六路输出并拉高 FAULT 管脚。将 ITRIP 与电机电流采样电阻连接以提供硬件过流保护功

能,在这里设置采样电阻大小为 0.01 Ω,即电机电流达 46 A 时将关闭 IR2136 输出。间隔一段时间后,IR2136 将恢复正常工作,间隔时间大小由 RCIN 管脚上的阻容电路参数控制。电机驱动电路的原理图如图 5 所示。

2.3.4 核心系统板电路

核心系统板也叫最小系统板,为方便硬件调试和模块更换,用插针连接的方式将核心系统板固定在控制器母板上。核心系统板是一块相对独立的 PCB 板,控制器中所有数据计算和程序运行都建立在核心系统板的硬件基础之上,其性能和可靠性直接影响到 EPS 控制器整体性能。核心系统板如图 6 所示,主要由晶振电路、复位电路、BDM(在线调试模式)电路、供电电路 4 部分组成。

3 EPS 控制器软件实现

设计完成 EPS 控制器硬件后,进入 EPS 软件实现阶段,通过软件驱动硬件实现控制器整体协同工作,实现助力转向功能,EPS 系统的助力特性应以驾驶员手感舒适为主要目标^[8],因此需要结合 EPS 控制器的控

制目标确定 EPS 控制器的控制方式。

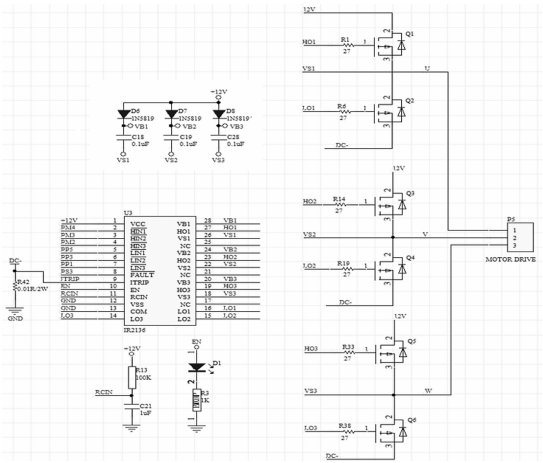


图5 电机驱动电路原理图

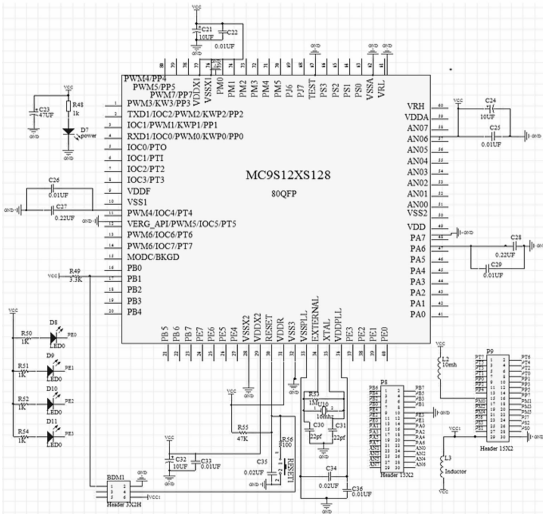


图6 核心系统板电路

3.1 电机控制策略

根据电机的具体控制方式不同,EPS 系统的助力电机控制方法采用目前电机控制领域广泛应用的电流控制法^[9],通过实时采样电机电流并与目标电流比较,通过电流误差实现闭环控制,由于电机输出扭矩与电流直接相关,可精确控制电机扭矩。PID 控制算法占用系统资源少,运算速度快,在工程实际应用中广泛采用^[10],增量式 PID 控制算法可以有效避免误差的积累,故在实际工程中多采用增量式 PID 算法。

增量式 PID 控制的基本原理为:

EPS 总成进行台架试验,检验在实际工况下控制器和助力电机的运行情况。试验台架使用电动助力转向研发单位的专用台架,该台架专门用于测量转向盘输入力矩和转向总成输出力矩之间的关系。

测力方向盘可在转动时输出方向盘扭矩和转角,转向柱和万向节连接处安装有扭矩传感器,用于测量方向盘输出扭矩和助力电机输出扭矩之和,工控机采集这两路信号,内置专业软件可绘制助力特性曲线。试验台架示意图和实物图如图 9、图 10 所示。

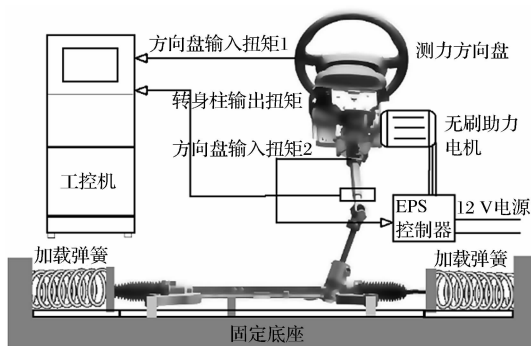


图 9 EPS 试验台架示意图

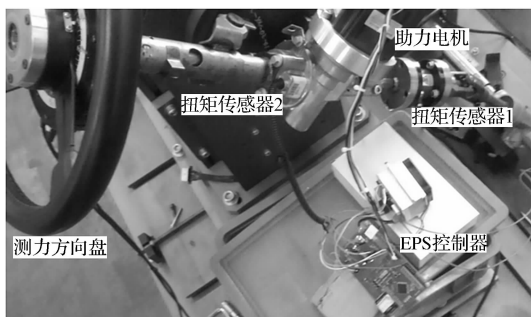


图 10 台架试验实物图

4.2 实验结果分析

在 EPS 台架助力试验中,EPS 控制器上电后阻力电机将按预定程序进行助力,顺时针和逆时针转动方向盘时,电机的助力曲线基本呈对称分布,当方向盘扭矩为 4 Nm 左右时,助力电机输出扭矩开始增大,最后转向柱输出最大扭矩稳定在 50 Nm,此时对应的最大方向盘输入扭矩为 7 Nm,计算得电机通过减速装置输出的扭矩为 43 Nm。助力转向总成蜗轮蜗杆减速装置的传动比为 17,无刷电机的额定输出扭矩为 2.5 Nm,两者的乘积为 42.5 Nm,与实验获得的电机通过减速装置输出的最大扭矩相比,误差在 1% 以内,说明电机已经发挥助力作用,电机控制策略取得预期效果。但是曲线

存在明显毛刺,意味电机转矩波动较大。另外顺时针和逆时针转动方向盘时转向柱输出最大扭矩存在 5 Nm 左右的差别,初步推测是由于电机制造误差导致的。

5 结束语

基于飞思卡尔 MC9S12XS128 型主控芯片,本研究设计了一款用于转向柱式 EPS 的永磁直流无刷电机控制器,并加入 CAN 通信功能。控制器软硬件工作正常,电子换向时刻和电机转子霍尔信号准确对应,电机正反转运行自如,并能实时响应方向盘扭矩信号进行调速。在台架试验中,电机可充分发挥助力作用,与理论最大扭矩误差在 1% 以内,助力效果达到预期目标,验证了控制器设计的合理性以及实用性。

研究过程中笔者发现控制器采用的数字 PID 电流闭环控制策略存在不足,电流采样时刻、采样点、PID 控制类型和参数拟定等都是今后研究的重点。

参考文献 (References):

- [1] LEE J H, MOON H T, YOO J Y. Current sensorless drive method for electric power steering [J]. *International Journal of Automotive Technology*, 2012, 13 (7): 1141-1147.
- [2] CRISTIAN C, JOCHEN. Controller design for an electric power steering system based on lqr techniques [J]. *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 2013, 32 (3): 763-775.
- [3] 吕英超,季学武,孙 宁,等. EPS 用 PMSM 弱磁控制策略的仿真与试验研究 [J]. *汽车工程*, 2013, 35 (6): 500-504.
- [4] 李志鹏,张双双. 基于无刷直流电机 EPSH_∞ 控制的研究 [J]. *森林工程*, 2014, 30 (5): 106-109, 113.
- [5] 程寿国,陈小龙. 汽车电动助力转向系统改装技术研究 [J]. *机电工程*, 2013, 30 (3): 314-317.
- [6] 张 阳,吴 晔,滕 勤. MC9S12XS 单片机原理及嵌入式系统开发 [M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [7] 钟德刚,潘君飞,余丹萍,等. 基于 PIC16C72 的汽车电动助力转向系统控制器 [J]. *机电工程*, 2008, 25 (10): 27-29.
- [8] IBRAHIM A Badiru. Customer focus in eps steering feel development [J]. *SAE Technical Paper*, 2014, 7 (3): 1009-1015.
- [9] 余贵珍,丁能根. EPS 电机驱动的反馈电流控制方法研究 [J]. *微计算机信息*, 2008, 24 (14): 250-253.
- [10] 王慧君,李幼德. EPS 助力系统模糊 PID 控制器的设计 [J]. *制造业自动化*, 2011, 33 (2): 34-36.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

吴庆森¹,刘振华²,陈 啸,等. 基于 MC9S12XS128 的汽车电动助力转向控制器 [J]. *机电工程*, 2016, 33 (5): 638-642.

WU Qing-miao, LIU Zhen-hua, CHEN Xiao, et al. Controller of the vehicle electric power steering system based on MC9S12XS128 [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2016, 33 (5): 638-642.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>