

# 电动助力系统控制单元的设计及实现

李国洪, 李 鑫

(天津理工大学 天津市复杂系统控制理论及应用重点实验室, 天津 300384)

**摘 要:** 为了实现对汽车转向时的主动控制, 提高汽车的主动安全性, 获得良好的路感, 良好的汽车助力转向系统 (EPS) 显得尤为重要。本系统在前人的基础上进行优化设计, 提高了系统性能。文中介绍了 EPS 的工作原理和系统组成。并在研究助力转向控制原理的基础上, 设计了以 56F8346 为控制器内核的电子控制单元 (ECU) 和以 IR2130 为核心的驱动模块, 并且介绍了电源电路和信号转换电路。在完成硬件部分设计的基础上, 给出 EPS 软件控制的总体流程。实验结果表明, 所设计的 EPS 控制器能很好地改善助力效果且性能稳定。

**关键词:** 电动助力; 控制单元; 控制器

中图分类号: TM273

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)05-0177-03

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.05.045

## Design and Realization of Electric Power Steering System Controller

LI Guo-hong, LI Xin

(Tianjin Key Laboratory for Control Theory & Applications in Complicated Systems, Tianjin University of Science and Engineering, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** For the realization of the car's steering control, improving the active safety and good road sense, it's particularly important to design a good electric power steering (EPS) system. The system optimizes the design and improves system performance on the basis of previous. It introduced the working principle and its hardware and software structures of EPS. On the basis of the EPS control principle, the EPS controller hardware with 56F8346 as core and IR2130 as drive module is designed, and describes the power supply circuit and a signal conversion circuit. And the overall process control software is designed. The results show that the EPS controller designed well improves the power efficiency with stable performance.

**Key words:** electric power; control unit; controller

## 0 引言

汽车在不同速度下的行驶状况, 汽车对助力系统所提供的助力大小需求是不一样的, 同低速状况下汽车要求所提供的助力大相反高速状况下则要求助力小或者无助力或增加阻力, 而传统的液压助力转向系统是无法做到这点的<sup>[1]</sup>。

电动助力转向系统是一种车速感应型的助力系统, 能够根据车速的变化来自动调节助力的特性, 从而实现对汽车的主动控制, 提高了汽车的主动安全性<sup>[2]</sup>。随着电力电子技术和控制技术的发展, 电动助力转向系统取代液压助力转向系统已经成为一种必然趋势。

## 1 EPS 系统介绍

### 1.1 工作原理

电动助力转向系统 (EPS) 是利用直流无刷电机来提供转向助力, 当有转向动作发生时, 转矩传感器根据转向轴的扭转变形量迅速测出转向阻力矩的大小, 并将该扭矩信号传递给电子控制单元 (ECU), 同时电子控制单元也接收传自车速传感器的车速信号; 根据这两个信号, 电子控制单元中的控制程序会根据预先设计好的助力特性计算出控制电动机所需的电流大小。同时由电流传感器进行电动机的电流取样, 将实际电流和目标电流相比较, 然后利用模糊 PID 混合控制器进行调节, 从而输出 PWM 信号到驱动电路, 为驱动电动机提供助力信号<sup>[3]</sup>。电控单元结构图如图 1 所示。

在电动助力转向系统中, 电子控制单元是整个系统的控制核心, 也是文中的主要工作, 电子控制单元设计要实现的主要功能如下:

(1) 采集方向盘扭矩信号和车速信号, 并将其转化为 DSP 可以接收、处理的信号<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2012-08-11; 修回日期: 2012-11-20

基金项目: 天津市中小企业科技创新资金项目 (09ZXCGX08900)

作者简介: 李国洪 (1968-), 男, 副教授, 研究方向为电动汽车、电力电子与电力传动、机电一体化及网络系统控制; 李 鑫 (1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向为计算机控制与管理。

(2) 根据控制要求, 确定助力特性, 将扭矩值换算成为电机提供的目标电流值。

(3) 设计合适的驱动电路, 将 DSP 的输出信号提供给直流助力电机。

(4) 跟踪目标电流形成闭环控制, 保证实际电流和目标电流的误差不超过允许范围<sup>[5]</sup>。

(5) 对系统进行监控和保护, 保证系统正常工作。

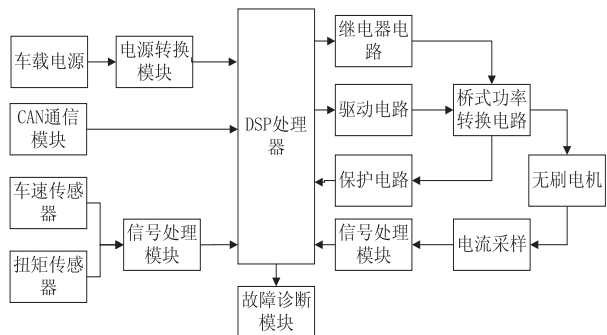


图 1 电子控制单元结构图

## 1.2 模糊 PID 控制器原理

模糊 PID 控制器是电机给定的目标电流值与电机实际电流值 (即反馈值) 比较后所得的偏差值  $e$  和偏差的变化率值  $de/dt$  进行计算。模糊 PID 控制器经公式 1 所确定的控制算法, 计算得到控制输出量, 从而控制电机使其输出电流向给定助力电流靠近<sup>[6]</sup>。将输入值进行量化、模糊化、模糊推理、反模糊化和量化后可得到比例系数  $K_p$ 、积分系数  $K_i$  和微分系数  $K_d$  的值。

$$U(t) = K_p * e(t) + K_i * e(i) + K_d * e(d) \quad (1)$$

## 2 ECU 硬件设计

### 2.1 电源部分

电动助力转向系统由车载 12V 蓄电池供电, 而系统中各种芯片还需要用到 5V、3.3V 直流电源, 所以需通过 DC-DC 变换器将 12V 直流电源变换成所需要的直流电源<sup>[7]</sup>。本系统采用 7805 和 AS1117 稳压电源进行变换。电源转换模块如图 2 所示。

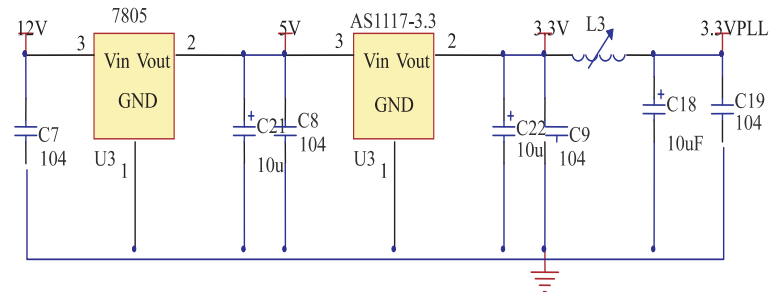


图 2 电源转换电路

### 2.2 输入部分

#### 2.2.1 扭矩信号

扭矩信号的测量采用电位计式扭矩传感器, 其额定输出电压为 0 ~ 5V, 对应的扭矩量程为  $\pm 25\text{Nm}$ 。设

定当方向盘处于中间位置时, 传感器的输出电压为 2.5V; 当方向盘向右旋转时, 它的输出电压为 2.5 ~ 5V; 当方向盘向左旋转时, 其输出电压为 0 ~ 2.5V<sup>[8]</sup>。因此, DSP 根据传感器输出电压的高低, 就可判定转向盘的转动方向和扭矩的大小。

输入的扭矩信号幅值为 0 ~ 5V, 而 MC56F8346 内部 A/D 转换器的输入电压范围为 0 ~ 3.3V, 故将信号送入 DSP 之前, 需先对其进行处理。扭矩信号处理电路如图 3 所示, 其中阻值相同的 R11 和 R13 组成分压电路, 将信号幅值降为 2.5V; R12、C1 和电压跟随器组成有源低通滤波电路对信号进行滤波处理, 经稳压管稳压后送入内部 A/D 转换器。

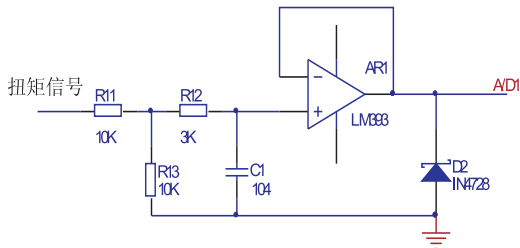


图 3 扭矩信号处理电路

#### 2.2.2 电流信号

电机电流信号的采集实现对电动机的闭环控制。文中采用霍尔传感器进行电流信号的采集。同扭矩传感器一样, 因为电流传感器的输出电压为 0 ~ 4V, 故也需要进行电路处理, 可通过比例运算放大电路来实现电压的转换<sup>[9]</sup>。即需要一组反相比例运算放大电路, 一组反相电压跟随器。

### 2.3 驱动部分

无刷直流电机的驱动使用可以实现直流电机在正反 2 个方向转动控制的 H 型全桥电路。全桥电路由 4 个 MOS 晶体管 Q1、Q2、Q3、Q4 和 4 个续流二极管 D4、D5、D6、D7 构成。该电路将 12V 电源接在两个上桥臂上, 把两个下桥臂接地, 然后在中间处连接电动机。由于驱动电流和由 DSP 输出的 PWM 信号的电压值太低, 故不能直接驱动 MOSFET 的栅极, 因此必须再另外提供驱动电路。文中选用的是 IR 公司的 IR2130 作为 H 桥的前置驱动器。IR2130 是高电压、高速率的大功率 MOSFET 和 IGBT 的驱动芯片, 专为电机驱动电路而设计<sup>[10]</sup>。图 4 画出了相应的驱动电路和主电路。

主电路。

如图 4 所示, IR2130 的引脚 HIN1、HIN2、HIN3 是三个高压侧的功率管驱动器的输入引脚; 引脚 LIN1、LIN2、LIN3 是三个低压侧的功率管驱动器的输入引脚。在该驱动电路中选用了其中的 4 路信号。引脚

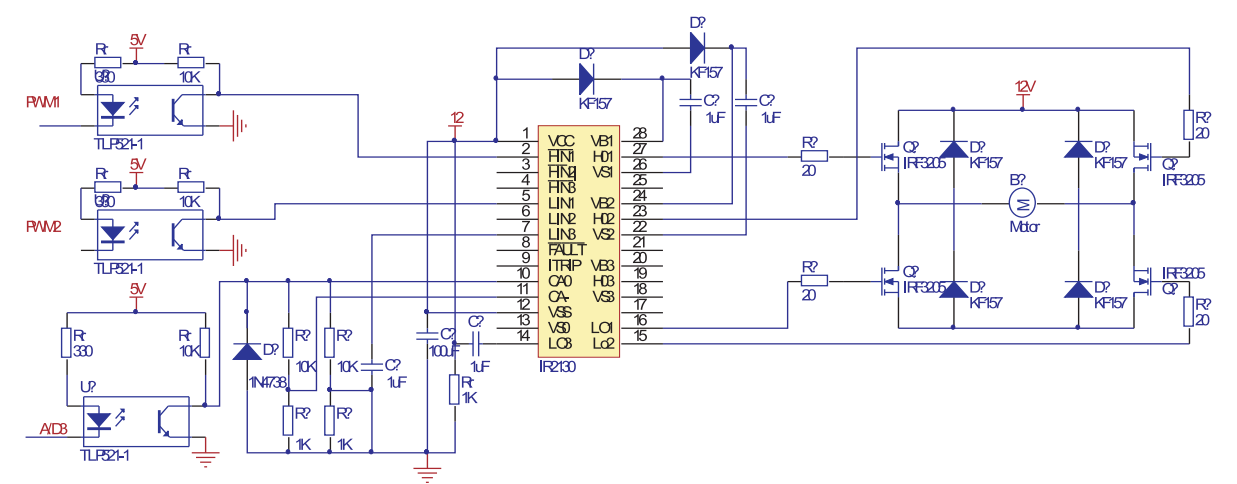


图4 驱动电路

LO1、LO2、LO3 是低压侧的三个功率 MOS 管的栅极驱动信号的输出引脚;引脚 HO1、HO2、HO3 是高压侧的三个功率 MOS 管的栅极驱动信号的输出引脚。分别选择其中的 4 路信号:DSP 的一路 PWM 信号接到 IR2130 芯片的端口 HO1 和 LO2 上,控制 MOS 管 Q1 和 Q4,同时与该路信号相反的 PWM 信号接到 IR2130 的 HO2 和 LO1 上,控制 MOS 管 Q2 和 Q3。

2.4 故障保护

为了有效地保护电机,该电路设计了双重保护方案。第一种情况是芯片 IR2130 的过流保护,如果引脚 ITRIP 上的电压超过 0.5V,IR2130 的引脚 FAULT 就会输出高电平,同一时间芯片将阻止所有输出并且不能恢复,从而可以防止因电流过大损坏电机。但是此时系统不能自动恢复,考虑到实际应用中电机过流只是在一瞬间发生,所以选择过流保护后断开电源,在短暂延时后再次给 IR2130 供电。重新供电方案采用 FAULT 端信号引起中断,使继电器吸合。第二种方案是采集 IR2130 的 CA0 端信号,经过光电耦合后送往 DSP 的 A/D 转换器读取 CA0 端的值,当读取的信号值超过 3.3V 时,电源继电器分离。经试验得出,断电后并联在 IR2130 上的电容所带电很快释放完,不会造成大的延时,所以过流保护后可以重新给 IR2130 上电,从而实现系统从故障中恢复。值得注意的是过流保护后 DSP 要在短时间内使继电器重新吸合。这将极大地提高系统的可靠性。本系统继电器选用 JZC-23F,该型号由 12V 直流电源供电,最大工作电流为 10A,可以满足实际应用的需求。

3 ECU 软件设计

3.1 主体流程

软件设计主要包括以下部分:系统初始化、转矩信号采集、车速信号采集、电流反馈信号采集、故障诊断、

模糊 PID 控制等<sup>[11]</sup>。系统工作之前首先要对硬件进行配置,要对系统的电源配置、初始化、设置时钟、设置看门狗等进行初始化操作。信号采集采用中断技术,可以消除 CPU 在查询方式中的等待,从而大幅度提高 CPU 的工作效率,优化资源配置。

3.2 信号处理

系统初始化确定工作正常后,等待中断。中断开启后 ECU 开始实时检测车速信号和方向盘扭矩信号,当车速大于 60km/h 或转矩处于死区范围时,ECU 循环等待,此时系统处于手动转向状态;当车速小于 60km/h 且转矩超出死区范围时,ECU 依次检测车速信号、转矩信号和电动机电流信号,并根据预定的控制算法计算出目标电流,再将目标电流和实际电流进行模糊 PID 控制,根据控制后的电流计算出所需 PWM 的占空比,使 DSP 输出 PWM 信号,经驱动短路后控制电动机输出电流的大小和方向。其流程图如图 5 所示。

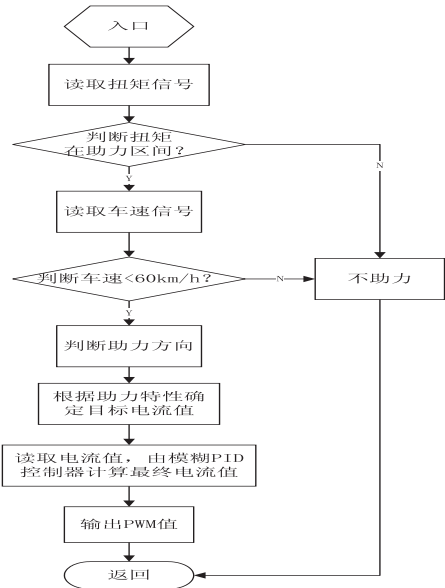


图5 信号处理流程图

但同时也会增加计算的复杂性。

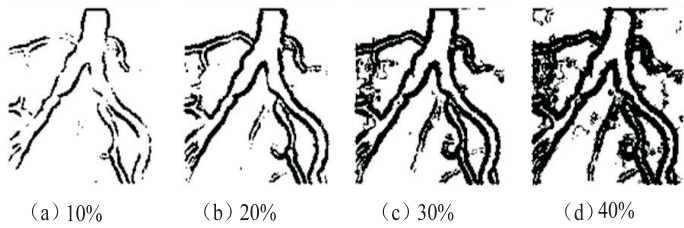


图3 阈值统计分析对比图

图像名称	原图	Canny算子	Ostu 阈值	Prewitt 算子	文中算法
含噪音的夜行飞机图					
含噪音的血细胞图					

图4 边缘检测实验结果

参考文献:

[1] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V, et al. Distributed Optimization by Ant Colonies[ C ]//Proceedings of the 1st European Conference on Artificial Life. Paris, France: [ s. n. ], 1991: 134-142.

[2] Dorigo M. Optimization, learning and natural algorithms[ D ]. Milano: Politecnico de Milano, 1992.

[3] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. Ant system: optimization by

a colony of cooperating agents[ J ]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B, 1996, 26 ( 1 ): 29-41.

[4] 张纪会,徐心和. 一种新的进化算法-蚁群算法[ J ]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(3): 84-87.

[5] 李士勇. 蚁群算法及其应用[ M ]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.

[6] 周光华,冯象初. 蚁群算法在图像处理中的应用[ EB/OL ]. [ 2010-07-01 ]. <http://www.paper.edu.cn/>

[7] 高德威,陈天煌,刘朋. 蚁群算法在图像边缘检测上的应用研究[ J ]. 计算机与数字工程, 2009 ( 1 ): 131 - 134.

[8] 卢雪夫. 基于蚁群算法的图像边缘检测[ D ]. 成都: 电子科技大学, 2010.

[9] 解欢庆. 改进的蚁群算法在图像边缘检测中的应用研究[ D ]. 兰州: 兰州大学, 2011.

[10] 何小娜,逢焕利. 基于二维直方图和改进蚁群聚类的图像分割[ J ]. 计算机技术与发展, 2010, 20(3): 128-131.

[11] 于勇,郭雷. 噪声图像中提取边缘的蚁群搜索算法[ J ]. 电子与信息学报, 2008, 30(6): 1271-1275.

(上接第179页)

4 结束语

与现有技术相比,本系统的有益效果是:助力转向功能效率高;能耗低,电机只在需要助力时工作;无污染,助力转向(EPS)系统的使用过程几乎不对环境造成污染;路感良好,系统可以根据车速情况和驾驶员的要求不断调整助力大小从而增强路感<sup>[12]</sup>;结构紧凑,系统易于安装布置;容易调整, EPS 可根据不同车型需求对 ECU 控制程序进行修改,从而简化开发时间和开发成本;增强了环境适应性,尤其是低温工作情况。

参考文献:

[1] 熊建桥,唐小琦,陈吉红. 基于模糊控制策略的 EPS 设计与实现[ J ]. 计算机工程与应用, 2007(34): 101-104.

[2] 江浩斌,唐斌,耿国庆. 无刷直流电机助力式 EPS 控制器设计与试验[ J ]. 汽车工程, 2011(11): 980-984.

[3] 唐爱民,赵武,谢刚,等. 汽车电动助力转向系统电控单元的研究[ J ]. 微计算机信息, 2008(14): 253-255.

[4] 王园园,唐岚. 基于 Freescale 的汽车电动助力转向控制器研究[ J ]. 拖拉机与农用运输车, 2011(5): 63-65.

[5] 王金归. 电动助力转向系统研究[ D ]. 重庆: 重庆大学, 2006.

[6] Rogers K, Kimberly W. Turning Steering to Electric[ J ]. Automotive Engineer, 2000(2): 39-41.

[7] Murugan R, Nandakumar S, Mohiyadeen M S. DSP-based Electric Power Assisted Steering Using BLDC Motor[ J ]. Sadhana, 2008(5): 581-590.

[8] Noguchi A. Development of a Steering Angle and Sensor of Contact-type[ J ]. Furukawa Review, 2004(25): 36-41.

[9] 邱少锋,辜承林,唐小琦,等. EPS 无刷直流电动机控制系统研究与仿真分析[ J ]. 微特电机, 2006, 34(8): 8-10.

[10] 唐小琦,刘光启,李新华. 电动助力转向用无刷直流电动机控制系统的开发[ J ]. 机械电子, 2004(12): 22-25.

[11] 宋晓华. 基于 MSC1210 的汽车电动助力转向控制系统研究与开发[ D ]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.

[12] Kim H J. Control Logic for an Electric Power Steering System Using Assist Motor[ J ]. Mechatronics, 2002(12): 447-459.

# 电动助力系统控制单元的设计及实现

作者: [李国洪](#), [李鑫](#)  
作者单位: [天津理工大学 天津市复杂系统控制理论及应用重点实验室, 天津 300384](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)  
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2013(5)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201305047.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201305047.aspx)