

柴油机 EGR 电控系统及标定软件设计

Design of EGR Electrical Control System and Calibration Software for Diesel Engine

代子阳 安伟

(江南大学机械工程学院,江苏 无锡 214122)

摘要: 为降低 NO_x 排放,根据废气再循环(EGR)技术系统的工作特点和功能要求,以 C8051F340 为控制核心,设计了基于步进电机的 EGR 电控系统。具体给出了控制系统的硬件电路设计和主控制程序,并应用 Visual Basic 6.0 为 EGR 系统标定试验和台架试验开发了标定软件。在考虑信号抗干扰能力的前提下,重点讨论了电控系统软硬件的结构与设计。模拟试验分析表明,所设计的 EGR 电控系统能够根据最佳废气再循环率进行自动控制,标定软件满足应用要求。

关键词: 废气再循环 电控系统 驱动步进电机 信号采集 串行通信

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Abstract: In order to reduce NO_x emissions, the exhaust gas recycling(EGR) electrical control system based on stepping motor has been designed with C8051F340 as the control kernel in accordance with the operating features and functional requirements of the EGR system. By adopting Visual Basic 6.0, the software for testing and calibrating EGR system is developed. The hardware circuitry design and main control program are given concretely. The structure and design of the hardware and software are discussed emphatically in consideration of the anti-interference capability. The emulated test and analysis indicate that the electrical control system implements automatic control in accordance with the optimal EGR rate, and the calibration software meets the applicable requirements.

Keywords: Exhaust gas recycling(EGR) Electrical control system Driving stepping motor Signal acquisition Serial communication

0 引言

由于柴油机具有较好的经济性和动力性,目前得到越来越广泛的应用,但是柴油机的废气排放特点是 NO_x 含量大,其他污染物含量相对较低。随着我国对柴油机 NO_x 排放要求越来越严格,柴油机需采用更为合理的排气净化技术才能满足要求。废气再循环 EGR(exhaust gas recycling)技术就是降低 NO_x 排放的有效技术措施之一。

EGR 技术的原理是将部分废气由排气系统引出,然后将废气引入进气系统,与新鲜空气混合后重新参与燃烧,并根据不同的工况要求,对废气回流量进行最佳控制,从而有效降低 NO_x 排放,最终减少废气对环境的污染。国外对柴油机 EGR 技术上的研究已经十分深入,并且已经将这一技术应用到轻型柴油机上;国内不少学者和机构也对柴油机 EGR 技术进行了试验研究^[1-4],但实际应用还很少。本文针对某型号增压直喷柴油机,设计开发了满足要求的 EGR 电控系统,并使用 VB6.0 编程软件开发了 EGR 标定软件。

1 系统的组成和功能

EGR 系统结构简图如图 1 所示。

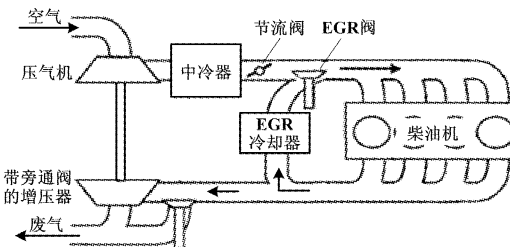


图 1 EGR 系统结构简图

Fig. 1 Structure of EGR system

EGR 系统由电控系统、EGR 阀、进气节流阀、EGR 冷却器、EGR 废气管路和各种传感器等组成。电控系统由主控 ECU、传感器和执行机构三部分组成。进气节流阀安装在中冷器后的进气管上,EGR 系统从增压器前取气,废气经 EGR 阀和冷却器引入到节流阀后的进气管与新鲜空气混合,这种方式可以避免废气对压气机腐蚀损害。进气节流阀用于调节进气压力,保证小负荷工况下有足够废气进入汽缸。EGR 阀由步进电机控制,用于调节 EGR 废气流量,实现对 EGR 率的调节。

修改稿收到日期:2010-07-07。

第一作者代子阳,男,1984 年生,现为江南大学机械制造及其自动化专业在读硕士研究生;主要从事 CAD/CAM/CAE 方面的研究。

系统具体的工作原理为:由 EGR 标定试验确定各工况最佳 EGR 率对应的 EGR 阀杆位置 MAP 图,并将 MAP 图保存到 ECU 存储单元中;当发动机运动时,ECU 通过传感器采集转速、油门位置信号和环境信号等,确定发动机所处工况;然后根据标定 MAP 得到该工况下的控制数据,以驱动步进电机调整 EGR 阀杆运动到指定开度,并判断是否调节进气节流阀,保证该工况时的最佳 EGR 率。

2 系统硬件设计

电控系统是 EGR 系统的控制核心,主要用来完成信号采集与处理、工况判断和驱动执行机构等功能。本文设计的 EGR 电控系统以 C8051F340 单片机为核心。该单片机与 8051 兼容,内有 64 kB 的 Flash 存储器和 4 352 B 的 RAM,且内部集成带有模拟多路器的 10 位 200 kS/s 的单端差分 ADC 模块。系统具有 5 个 PCA 模块,便于进行数字信号的采集,实现 PWM 输出;并有 40 个 I/O 端口^[5]。

系统硬件电路主要包括控制单元模块、信号采集处理模块、执行机构驱动模块和串行通信模块等。其中,控制单元模块主要涉及单片机及其外围电路的设计;信号采集模块分数字信号采集模块和模拟信号采集模块,转速信号为数字信号,而水温 and 油门位置信号为模拟信号;执行机构驱动模块是指步进电机的驱动电路设计;串行通信模块使用 RS-232 串口通信协议,与上位机标定系统进行通信。硬件电路结构框图如图 2 所示。

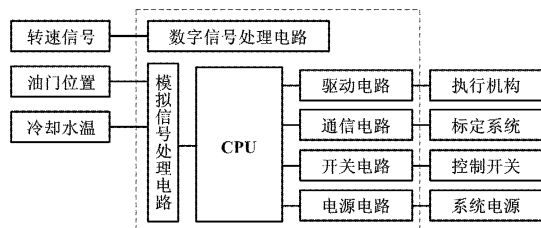


图 2 硬件电路结构图

Fig. 2 Structure of hardware circuit

2.1 电源稳压模块

将系统应用于柴油机车,由于汽车车载为 24 V 电源供电,而 C8051F340 单片机的工作电压为 3.3 V,IC 的工作电压为 5 V,执行机构驱动电压为 15 V。因此,需对电源电压进行降压和稳压处理。本文选用 LM7815、B1505S-2W 和 LM2973-3.3 电源转换芯片,分别实现 15 V、5 V 和 3.3 V 的稳压输出。其中 B1505S-2W 芯片具有输入/输出隔离、短时短路以及过载保护功能,提高了电路安全性。

2.2 编程及复位模块

编程电路和复位电路同属单片机外围电路。复位电路设计的目的是在系统出现死机或者故障时进行系统复位,复位后程序重新开始执行,起到保护控制系统的作用。编程电路设计的目的是当程序编写好之后,通过其将程序写入单片机的 RAM 当中,并且可以在线调试程序。C8051F340 单片机的复位电路和编程电路设计可参考数据手册。

2.3 信号采集处理模块

信号采集电路如图 3 所示。

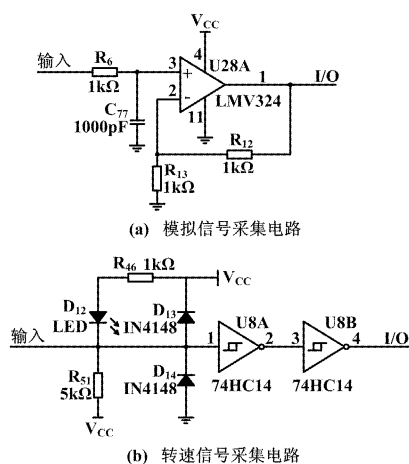


图 3 信号采集电路

Fig. 3 Circuit of signal acquisition

本文设计的 EGR 系统需采集油门位置信号、水温信号和转速信号。油门位置信号和水温信号为模拟量,传感器采集并输出模拟信号,经滤波、限幅处理后送入单片机进行 A/D 转换。模拟信号采集电路如图 3(a) 所示。发动机转速信号为数字信号,系统使用霍尔转速传感器进行采集。霍尔传感器利用霍尔效应进行转速测量,输出为方波脉冲信号,使用方便。方波信号经钳位、整形后送入单片机,C8051F340 中的 PCA 模块可以用测频法进行转速计算。转速信号采集电路如图 3(b) 所示。

2.4 步进电机驱动模块

本系统执行器为两相混合式步进电机。步进电机是将脉冲信号转换为角位移和线位移的开环控制元件,在非超载的情况下,电机的停止位置和转速只取决于脉冲数和频率,并且无累积误差。这些优点使步进电机广泛应用于速度和位置控制领域^[6]。

为了不增加控制系统的体积,本文单独设计驱动电路。步进电机驱动电路必须包括环形脉冲和功率放大等部分,这里采用混合式步进电机驱动芯片 L297/L298,其可以实现斩波恒流驱动。

L297 适用于双极性两相混合步进电机或者单极

性四相步进电机的控制,将 L297 输出信号控制 L298 双 H 桥驱动集成电路,可用来驱动电压为 46 V、电流为 2.5 A 以下的步进电机。L297 的核心是实现脉冲

分配,其内部还有两个 PWM 斩波器,可用于控制相电流。在本系统中,它们用于实现恒流斩波驱动。驱动电路原理如图 4 所示。

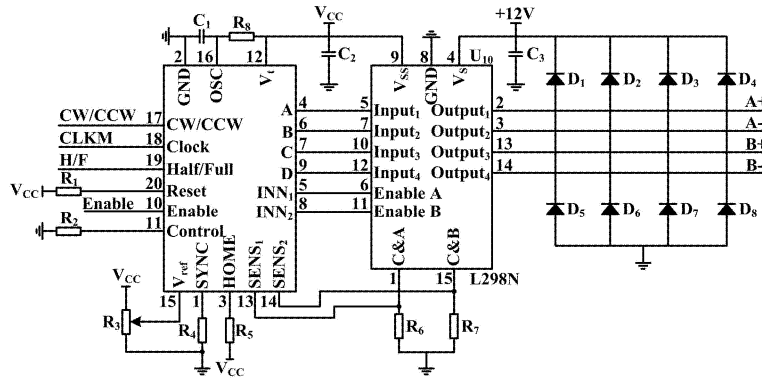


图 4 步进电机驱动电路

Fig.4 Drive circuit of stepping motor

2.5 串行通信模块

串行通信模块用于实现 EGR 电控 ECU 与上位机标定软件之间的通信。C8051F340 芯片内部集成有两个增强型异步全双工串口 UART₀ 和 UART₁,可以实现异步串行通信。由于 C8051F340 串口电平为 TTL 电平,PC 机 9 针串口为 RS-232 电平,因此,在通信时需进行电平转换。这里采用的电平转换芯片为 MAX232A 接口芯片,其电平转换电路如图 5 所示。

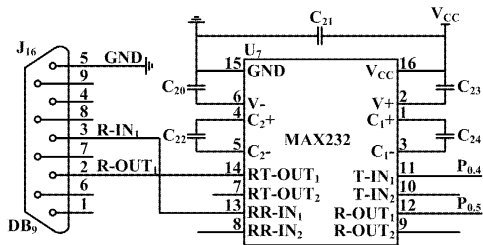


图 5 串口通信电路

Fig.5 Serial communication circuit

2.6 电路抗干扰措施

EGR 电控系统在台架试验中会受到来自电源以及现场的各种干扰。因此,为保证硬件系统工作稳定,在设计电路时采取以下措施减少干扰的影响。

① 电路设计中来自电源的干扰往往是不可避免的,由于车载电源一般是发动机对其进行充电,且还有一些其他大功率用电设备的存在,这会造成电源波动干扰较大,所以在电路设计时采用多级滤波处理的方法来减小干扰。

② 由于步进电机驱动需高压、大电流,当电机启动和换相时,产生的瞬间大电流所带来的干扰会通过驱动

电路引入系统。这里采用光电耦合方式将控制信号和驱动信号在电气上进行隔离,即单片机输出的控制信号经光电耦合器接到驱动模块中,以提高系统的抗干扰能力。

③ 模拟信号通过传感器接入控制系统时会带来来自现场的干扰,影响系统的稳定性。对此,本文在设计电路时将数字地和模拟地分开,并将数字信号和模拟信号在 PCB 板上远离,以减小相互之间的干扰。

3 EGR 系统控制程序设计

EGR 系统控制程序采用 C 语言编写。为增强软件的可读性和通用性,采用模块化设计思想,即将主控程序分成若干功能模块,先单独编写各个功能模块,然后再将各功能模块连接在一起形成 EGR 系统控制程序。主控程序主要包括初始化部分和工作循环部分,其中初始化部分主要完成电控系统上电后的初始化,工作循环部分主要完成信号采集、工况判断和相应处理。系统程序流程如图 6 所示。

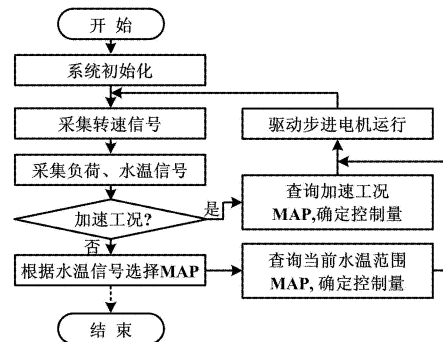


图 6 程序流程图

Fig.6 Flowchart of the program

本文在设计程序时采用的思路如下:冷却水温并不是作为一个修正信号,而是作为 MAP 图选择信号;在 EGR 标定试验中,系统根据不同的冷却水温范围标定多张 MAP 图,并根据采集到的水温信号确定查询的 MAP 图号。这种控制策略的优点是不必根据试验确定水温对最佳 EGR 率的修正系数,虽然试验标定过程比较复杂,但准确性得到了提高。

4 上位机标定软件设计

在进行 EGR 标定和台架试验时,为实时监控发动机工况,设置试验数据,使用 VB 开发了标定软件。该标定软件主要实现两个功能:①与下位机进行实时通信,显示转速、油门和环境参数等信息,以及工况参数曲线变化;②通过上位机软件设置各种实验数据,控制 EGR 系统,完成标定试验和台架试验。标定软件分为工况监控模块、参数设置模块、MAP 控制模块、实时工况参数曲线显示模块和手动控制模块 5 个功能模块。在进行标定软件程序设计时,使用 VB 串行通信控件 MScComm,实现与下位机的通信^[7]。

5 模拟试验分析

① 系统响应性分析

为分析系统的响应性,对步进电机驱动的 EGR 阀门从系统上电到全部打开的过程进行了测试。试验结果表明,阀门全部打开时间为 0.080 s,较电气 EGR 系统响应时间短,满足系统使用要求。

② 模拟试验分析

模拟试验所用工具主要有 PC 机、示波器、精密电位器、调速电机、程序烧写器、万用表和步进电机等。油门位置和水温传感器的原理与电位器相似,故用精密电位器模拟水温 and 油门信号,发动机转速用调速电机模拟。

③ 自动状态模拟试验

用 MAP 图编写模拟试验,取 9 个转速(单位:r/min)临界点,分别是:850、1 300、1 500、1 700、2 200、2 700、3 000、3 300 和 3 600;负荷信号临界点分别取 0、20%、40%、60%、80% 和 85%。控制策略为当转速在 850 r/min 以下、3 300 r/min 以上以及负荷在 85% 以上时电机处于初始位置;同时,设置 30%、50% 和 70% 这 3 个水温临界值,将 MAP 数据写入单片机 Flash 存储器当中,然后按程序流程图编写控制程序。

初次模拟试验中出现下列问题:在转速和负荷临界点处,步进电机频繁跳动,非临界点处电机运行正常并准确定位;在水温临界值附近上位机显示 MAP 图界面频繁转换。这是由于调速电机转速和电位器时存在

抖动,造成转速、负荷及水温信号存在波动,从而导致在转速和负荷临界点附近步进电机目标位置不断变化而出现频繁跳动以及 MAP 图频繁转换的现象。在发动机试验中同样存在这样的问题,并且发动机自身转速抖动误差更大。

对此,实验中设置 10 r/min 为转速界限,当转速由低到高越过临界点 10 r/min 时,再按照较高转速段 MAP 数据进行计算控制电机;当转速由高到低越过临界点 10 r/min 后,再按照较低转速段 MAP 数据进行计算控制电机。同样,为防止步进电机在油门负荷临界点附近频繁跳动工作,设置 0.05 V 作为油门负荷界限,处理方式与转速界限处理方式相同;水温信号处理和油门负荷信号处理方式相同。重新调试程序,问题得到解决。

④ 手动状态模拟试验

试验时选择手动状态,按下下位机启动键后,ECU 进入手动状态。在手动状态下,步进电机不再根据转速和负荷信号查询 MAP 得出控制量的方式运行,而是根据上位机输入的控制方向和步数运行。在标定软件输入窗口输入步数,选择方向,步进电机就会运动到指定位置。

⑤ 串行通信模拟试验

试验时按下下位机暂停键,通过上位机界面修改水温限温度值,并点击标定软件修改数据按键,然后按下下位机启动键。调节水温信号,观察标定软件界面,当温度达到临界点时会自动跳转到下一温度范围 MAP,步进电机按修改后的 MAP 运行,说明系统修改数据正确。观察监控界面显示的转速和负荷等工况值,并与计算理论值相比较,结果表明显示值与理论值相同。观察实时曲线显示界面,曲线变化规律与调节结果相符。以上均说明串行通信工作正常,达到了系统要求。

6 结束语

通过对增压柴油机 EGR 电控技术的研究与分析,本文设计了 EGR 电控系统的软硬件,并开发了标定软件。硬件设计采用 C8051F340 作为控制芯片,充分考虑了电路抗干扰措施;软件设计采用模块化设计思想,将主控程序分为若干功能模块,提高了程序的可读性且便于修改与管理;标定软件实现了标定试验中所需的功能,可以实时输出工况参数的变化曲线,并能保存历史曲线,为数据的分析处理提供依据。模拟试验分析表明,电控系统软硬件设计合理,运行可靠,满足 EGR 系统的控制要求。

(下转第 79 页)

```
void UART_ISR(void)
{
    uchar ch;
    if (有接收数据)
    {
        判断是否 GPGGA 语句;收集全 GGA、VTG 语句;
        置已接收完 GPS 语句标志为 1;
    }
}
```

4 定位控制测试

为验证系统设计的精度,对其定位控制进行测试。分别测试叉车作 100 m 直线运动及直角曲线运动(两直角边各为 50 m),得到数据分别如表 1、表 2 所示,并将推算距离与 GPS 实际定位相比较。测试数据表明设计达到了技术指标要求,实现了精准控制功能。

表 1 100 m 直线运动数据
Tab.1 Data of 100-meter straight motion

序号	推算距离/m	陀螺漂移/°	停车校正
1	98.00	0.3	无
2	98.75	7.8	无
3	96.77	0.7	无
4	98.74	3.6	无
5	101.07	3.8	有
6	100.44	0.1	有

表 2 100 m 直角曲线运动数据
Tab.2 Data of 100-meter chamfered curve motion

序号	1	2	3	4
推算距离/m	98.66	100.16	97.87	99.43

实验结果表明,无论测试叉车作直线运动还是直角曲线运动,GPS 定位较推算定位更加精准。

5 结束语

试验表明,该 GPS 定位控制器将导航定位功能与转锁控制功能相结合,在组合定位精度为 20 s 内推算 100 m 路程误差小于 3 m,实现了对叉车的精确定位及控制。同时,通过对车辆停车状态进行判断,极大地降低了因停车造成的累计误差。另外,通过逐次逼近实现陀螺仪零值自动校准以及对传感器参数的自动调整,也使得设计更智能化和实用化。

参考文献

- [1] 刘志平,翟俊杰,陶德馨. 自动化集装箱码头中的 AGV 技术[J]. 物流技术,2006(7):114-116.
- [2] 陈迪茂. GPS 在场地集装箱轮胎吊上的应用[J]. 水运工程,2005(5):67-69.
- [3] 王惠南. GPS 导航原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [4] 仲伟仁,关庄,王维洲,等. CCCT 技术与集装箱码头生产 DPS 系统的整合研究[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2007,31(5):857-859.
- [5] Zhong Weizhu. The application of 2S(GIS+GPS)technology in container port logistics[C]. Proceedings of the First International Conference on Integrated Logistics, NY University, Singapore, 2001;277-280.
- [6] 龚真春,宋执环,李平,等. 一种低成本的差分 GPS 定位系统的设计与实验[J]. 计算机测量与控制,2005,13(1):86-88.
- [7] 吴斌,杨根兴. 基于 OEM/PXA250 平台的 GPS 接收机设计[J]. 计算机工程,2005,31(24):212-213.
- [8] 张雷,邓江平,王建宇. GPS 软件接收机的模块设计与信号处理[J]. 计算机工程,2009,35(1):198-200.
- [9] 李民权,吴先良. 物流系统中集成化仓储系统设计[J]. 计算机工程,2006,32(24):266-268.
- [10] 马斌良,黄玉美,朱从民,等. 叉车式机器人的转向位姿误差[J]. 应用科学学报,2009,27(2):210-215.

(上接第 75 页)

参考文献

- [1] 王吉华,居钰生,王鹏,等. 柴油机电控 EGR 系统的研究[J]. 现代车用动力,2007(1):20-23.
- [2] 杨帅,姚喜贵,李秀元,等. 增压直喷柴油机 EGR 系统开发及试验分析[J]. 上海理工大学学报:自然科学版,2005,27(2):172-175.
- [3] 温任林,艾森林,徐伟. EGR 标定方法与试验研究[J]. 柴油机,2009,31(1):17-18.

- [4] 任尚峰. 车用重型增压中冷柴油机 EGR 试验研究[D]. 长春:吉林大学,2007.
- [5] 侯玉春,陆晨,肖福明,等. 步进电机控制在柴油机 EGR 控制系统的应用[J]. 山东大学学报:工学版,2004,34(2):30-34.
- [6] 童长飞. C8051F 系列单片机开发与 C 语言编程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [7] 李江全,张丽,岑红蕾. Visual Basic 串口通信与测控应用技术实战详解[M]. 北京:人民邮电出版社,2000.

行业信息

西门子将隆重亮相 2011 汉诺威工业博览会

在今年的汉诺威工业博览会上,遵循“创造可持续价值”的主题,西门子将展示其如何通过绿色工业生产来平衡经济效率与生产力。其中,西门子工业自动化集团将展示其领先的工业过程自动化产品与创新技术;西门子驱动技术集团则将展示其在能源效率、可靠性和生产力上所取得的巨大进展以及一系列创新技术。