

柴油机废气再循环电控系统设计*

彭美春 黄华 胡强

【摘要】 以DL190-12型柴油机为样机,设计了EGR电子控制系统。硬件设计包括控制单元、数据采集信号处理电路、执行机构驱动电路和显示电路。控制软件采取模块化设计方法。发动机台架实验表明DL190-12型柴油机匹配EGR电子控制系统后,掺烧15%乙醇的 NO_x 排放量比原柴油机下降50%~90%。

关键词: 柴油机 废气再循环 电控系统 设计

中图分类号: TK421.5

文献标识码: A

Design of EGR Electronic Control System for Diesel

Peng Meichun¹ Huang Hua² Hu Qiang¹

(1. *Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China*

2. *Guangzhou Polytechnic of Science and Trade, Guangzhou 511442, China*)

Abstract

EGR electronic control system for diesel DL190-12 was developed. The hardware and software of EGR electronic control system was designed respectively. The design of hardware includes the ECU design, data signal acquisition processing circuit design, implementing agencies drive circuit design and display circuit design. The design of control software is modular. The engine table tests showed that NO_x emission of the ethanol-diesel blend fuel engine DL190-12 equipped with the EGR was reduced by 50%~90% than that of the original diesel.

Key words Diesel, Exhaust gas recycle, Electronic control system, Design

引言

由于柴油机具有良好的经济性,得到越来越广泛的应用,但柴油机高的碳烟排放与 NO_x 排放又限制了它的应用。要满足越来越严格的排放标准,柴油机需要采用综合排气净化技术,废气再循环是降低 NO_x 排放有效的技术措施。

国外对废气再循环(exhaust gas recycle,简称EGR)的研究,无论是理论还是实际技术都达到了一定的水平^[1]。国内对EGR系统的应用和研究起步较晚,目前国产汽车采用电控EGR技术的不多。在EGR的理论研究方面,国内的报道集中在EGR率的优化和讨论上,缺乏对EGR电控技术开发有效的

理论指导和试验方法^[2~5]。相比汽油机EGR技术,柴油机EGR控制技术具有难度大、结构复杂、成本高等特点,而且必须综合考虑微粒排放的控制。本文主要设计柴油机EGR的电子控制系统。

1 EGR电控系统硬件设计

1.1 总体方案设计

电控系统在实时控制过程中,用以完成信号的采集与处理、做出控制决策及生成控制信号等。以顺德柴油机厂生产的DL190-12型柴油机为样机,设计的EGR电控系统如图1所示。

EGR电控系统以51单片机为核心,包括控制单元、信号采集及其处理系统、执行机构驱动、模拟

收稿日期:2007-07-25

* 广东省科技计划资助项目(项目编号:2004B10201033)

彭美春 广东工业大学机电工程学院 教授,510090 广州市

黄华 广州科技贸易职业学院 助教,511442 广州市

胡强 广东工业大学机电工程学院 硕士生

仿真、显示、故障恢复、电源稳压 7 个模块。

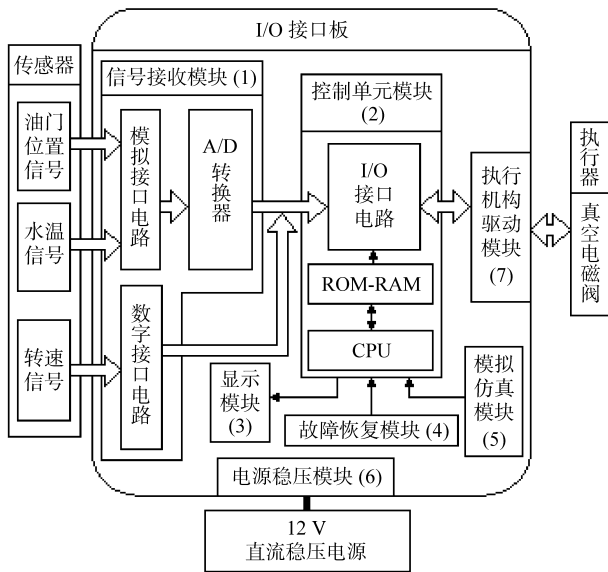


图 1 EGR 电控系统结构原理图

Fig. 1 Structure of EGR electronic control system

1.2 控制单元模块

控制单元是对数据采集系统送入的信号进行运算处理,判断发动机所处的工作状态,依据发动机 EGR 控制 MAP 特性数据做出控制决策,发出控制指令驱动执行机构工作。控制单元由 51 单片机和一些辅助电路组成。

DL190-12 型柴油机 EGR 电控系统采用的控制芯片为 AT89S52 单片机。因为被控真空电磁阀工作频率为 50~100 Hz,而发动机的转速最高为 2 200 r/min,转速传感器的触发轮齿数为 30,则一个转速脉冲信号的周期约为 908 μ s,所选单片机工作频率为 12 MHz,周期为 1 μ s,定时器/计数器定时时间也为 1 μ s,显然此单片机完全能满足工作频率的需要。

控制单元有转速、油门位置和水温 3 个输入信号,其中转速信号为方波周期信号,油门位置和水温信号为模拟信号。控制单元输出的控制信号为占空比可变的方波信号。此外,控制单元还接收仿真模块的油门位置仿真信号和测功机加载仿真 2 个信号。因此,单片机接收的模拟信号有油门位置信号、水温信号、油门位置仿真信号和测功机加载仿真信号共 4 个,为此用多通道 A/D 转换芯片将 4 路信号输入到并行口;转速信号输入可用外部中断口,转速信号的计算处理和控制各需用到一个定时器。单片机的输入、输出口完全能够满足信号接收与控制的需要。

1.3 故障恢复模块电路

为了使 AT89S52 单片机在上电后能正常工作,必须对其复位。AT89S52 单片机复位信号为低电

平有效,在 Vcc、振荡器和反向偏置发生器已达到稳定状态后,RESET 引脚至少应该保持 2 个状态周期的低电平。当 RESET 低电平再次变为高电平时,AT89S52 单片机就开始执行为时 10 个状态周期的复位序列,包括使一些寄存器初始化,清除 PSW,加载芯片配置寄存器 CCR 等^[2]。

复位电路的结构如图 2 所示。当系统陷入死循环时,通过复位按键可以实现系统复位,具有手动故障排除功能。

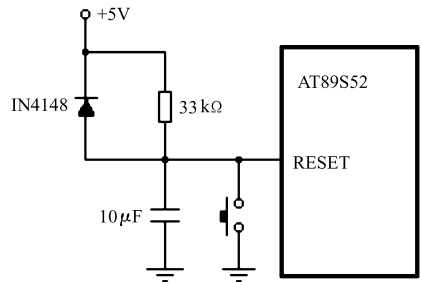


图 2 复位电路结构示意图

Fig. 2 Chart of reset circuit

1.4 电源稳压模块电路

由于系统用于车用发动机,由车辆的 24 V 蓄电池供电,单片机的工作电压一般为 5 V,所以必须对电源电压采取降压和稳压措施。选用 μ A7805C 集成稳压芯片实现稳压。电路如图 3 所示。

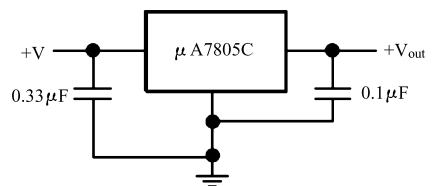


图 3 稳压电路示意图

Fig. 3 Chart of regulator circuit

1.5 信号采集模块电路

传感器的作用是采集发动机的各种状态信息。由于一些传感器的输出信号不能满足单片机输入的要求,故在信号输入单片机之前,需进行信号调理与变换,传感器直接与现场采集对象相连,是现场干扰进入的主要渠道,所以必须采取合适的抗干扰措施,以确保电路的正常工作。

根据信号的来源不同,设计转速信号处理电路、油门位置信号处理电路、水温信号处理电路。

1.5.1 转速信号处理电路

转速信号处理电路结构如图 4 所示。传感器的触发轮安装在发动机的输出轴上,发动机运行时和飞轮一起转动,当触发轮的一个齿转过固定不动的传感器头时,传感器的输出信号发生由高到低和由低到高的两次变化,从而产生方波信号。传感器的输出信号接到 AT89S52 单片机的 P3.2 引脚,通过

设置外部中断方式,由定时器 T1 对内部脉冲进行计数。当传感器输入的信号由高电平变成低电平时,向 ECU 发出外部中断请求,把此时定时器的计数值保存下来,以计算发动机转速。

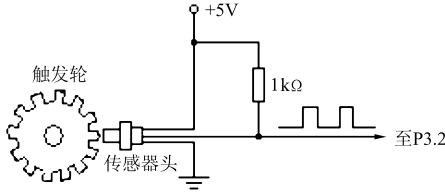


图 4 转速信号处理电路示意图

Fig. 4 Chart of engine velocity signal-receiving circuit

定时器计一个数的时间是 $1 \mu s$,那么得到的数据是外部中断信号的一个周期。设定定时器的计数值为 A ,则触发轮一个齿转过的时间为 $A(\mu s)$ 。触发轮有 30 个齿,那么触发轮转一圈需要的时间是 $30A(\mu s)$,即为 $0.5 \times 10^{-6} A(\text{min})$,则由定时器的计数值换算为发动机转速为

$$n = 2 \times 10^6 / A \quad (\text{r/min})$$

1.5.2 油门位置信号处理电路

油门位置传感器实际上是一个电位计,电位计的输出电压与转角之间呈线性关系。

在 AT89S52 单片机中未集成 A/D 转换器部件,必须外接一个 A/D 转换器。根据系统要求,选择 ADC0809 A/D 转换芯片。此芯片具有 8 路模拟信号输入,8 位数字信号输出,转换形式为逐次逼近,最佳工作频率为 600 Hz。单片机 ALE 端口信号输出频率为 1 kHz,可以通过分频器 74LS90 把此信号二分频后输入到 ADC0809 的 CLOCK 端口中,确保 A/D 转换器正常工作。对多路模拟信号的转换选择,由 ECU 通过地址锁存器 74LS373 实现^[6],如图 5 所示。

油门位置信号输入到 ADC0809 的 IN0 端口, ECU 寻址为 0xFFF8H。ADC0809 把油门传感器输出的模拟电压信号转换成数字信号。

1.5.3 水温信号处理电路

水温传感器由热敏电阻制成。水温信号是模拟信号,也必须经过 A/D 转换才能输入到 ECU 当中。

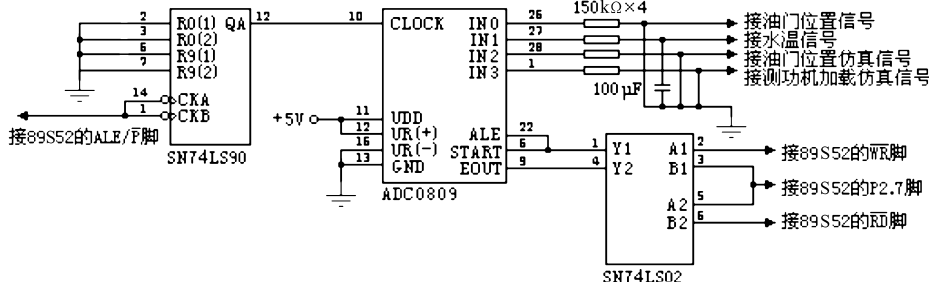


图 6 仿真信号接收电路示意图

Fig. 6 Chart of analog signal-receiving circuit

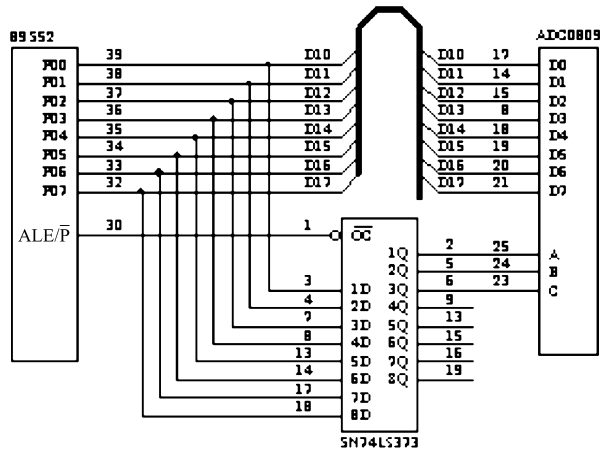


图 5 地址锁存器接线示意图

Fig. 5 Chart of address latch wiring

信号输入到 ADC0809 的 IN1 端口, ECU 寻址为 0xFFF9H。通过 ECU 的工作允许,ADC0809 把水温传感器输出的模拟电压信号转换成数字信号。

1.6 仿真模块信号处理电路

仿真模块用于柴油机 EGR 匹配标定调试。调试时模拟发动机实验,由手工调制生成仿真信号。根据发动机实验的特点,采用 2 个模拟输入量,即油门位置仿真信号和测功机加载仿真信号。油门位置仿真信号可由电位器直接产生,其电路同油门位置处理电路一致。油门位置与发动机转速直接相关,当代表油门位置信号发生器的电位器固定不变时,如增加测功机加载量则转速会降低,减小测功机加载量时转速会升高,故可以利用电位器的原理,把另一电位器作为测功机加载信号发生器,即电位器指针处在不同位置时,输出电压不同就意味着测功机加载量的不同。因此,对测功机加载量的仿真也可利用电位器产生,其电路与油门位置处理电路一致。油门位置仿真信号输入到 ADC0809 的 IN2 端口, ECU 寻址为 0xFFFAH,测功机加载仿真信号输入到 ADC0809 的 IN3 端口, ECU 寻址为 0xFFFBH。所有模拟信号处理电路的示意图如图 6 所示。

1.7 执行机构驱动模块电路

驱动电路是为控制单元和执行器之间建立起有效的联系,它将 ECU 做出的控制决策转变为控制信

号以驱动执行机构工作。执行机构是 EGR 真空电磁阀。

采用 TIP142 达林顿型功率放大管对 ECU 输出的脉冲信号进行放大,功放管与 ECU 之间通过光电耦合器 TLP521-1 进行耦合,以防止 ECU 本身的自激振荡波输入到驱动电路中而影响执行器的正常工作。驱动电路如图 7 所示。

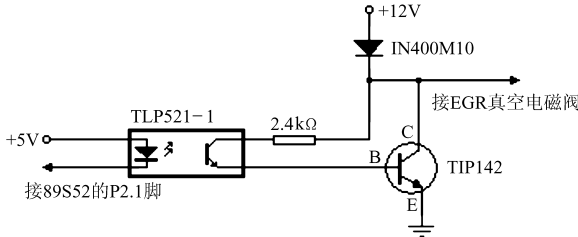


图 7 驱动电路示意图
Fig.7 Chart of driving circuit

1.8 显示模块电路

为了能清楚地知道发动机的工作状态,设计了转速和油门位置显示模块。显示模块由 8 位 LED 数码管、3-8 数据译码器 74LS138、串并转换电路 74LS164 等组成。转速模块由 4 个 8 段 LED 数码管组成,最大可显示 9999,单位为 r/min;油门位置显示模块由 2 个 8 段 LED 数码管组成,表示油门位置占最大负荷的百分比,最大可显示 99,单位为 %。

发动机工作时,ECU 在采集到发动机工作状态的信号后,即以扫描方式轮流向显示模块发出转速和油门位置信号,保证显示模块工作的实时性。显示电路如图 8 所示。

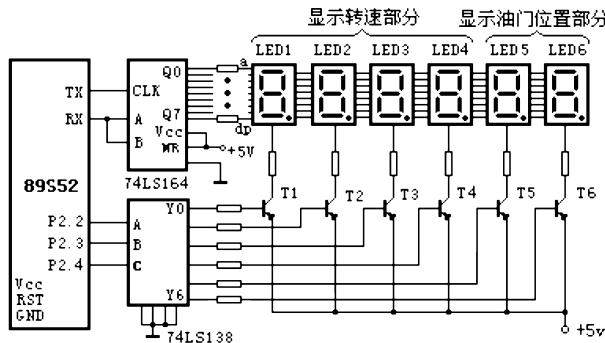


图 8 显示电路示意图
Fig.8 Chart of displaying circuit

2 EGR 电控系统软件设计

在对控制对象进行实时控制的过程中,控制软件执行实现信号的采集与处理、控制决策以及生成控制信号等项任务。

EGR 电控系统控制软件采用 C51 语言编写。采用模块化的设计思想,将主控程序分成若干子程

序和中断服务程序功能块,先单独编制调试各个功能块程序,最后再连接在一起构成电控 EGR 系统的控制程序。

主控程序是控制软件的中心模块,它主要包括控制系统通电后的初始化程序以及发动机工况测定、判别和相应的处理程序等。程序的初始化包括堆栈指针的设定、RAM 区的初始化、各种特殊功能寄存器的初始化以及 I/O 端口的初始化等。

主控程序是一个循环程序,发动机工作后主控程序一直在循环运行,调用 A/D 转换子程序和转速测量子程序判定发动机的工作状态,在 EGR 控制 MAP 表中查找发动机某工况下与 EGR 率对应的真空电磁阀控制指令并计算出需要的控制指令,调用电磁阀控制子程序,向执行机构输出控制指令,完成各个工况预定的动作。主控程序框图如图 9 所示。

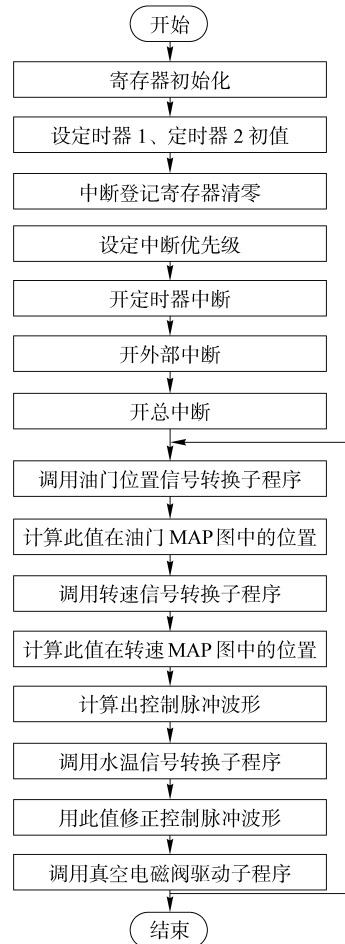


图 9 主控程序框图

Fig.9 Chart of main program

3 发动机台架实验

3.1 实验方法

在 DL190-12 型柴油机上安装所开发的电控 EGR 系统,并保持该发动机的压缩比、供油提前角、喷油压力等结构参数不变。考虑该发动机最高转速

为 2 200 r/min, 选择 1 200 r/min、1 500 r/min、1 800 r/min 3 种转速进行发动机负荷特性实验, 测取发动机动力性、经济性和排放特性指标, 进行 EGR 效果的考核^[7]。由于篇幅限制, 只列出 NO_x 排放指标。实验用燃料包括纯柴油和 15% 乙醇柴油混合燃料。

3.2 实验结果

图 10 为 1 200 r/min、1 500 r/min 和 1 800 r/min 负荷特性下 NO_x 排放测试结果。

图中“纯柴油”曲线代表原 DL190-12 型柴油机, “15% 乙醇”曲线代表掺烧 15% 乙醇的乙醇柴油混合燃料发动机, “15% 乙醇 + EGR”曲线代表掺烧 15% 乙醇的乙醇柴油混合燃料发动机再匹配电控 EGR 系统的情形。

可见, 掺烧 15% 乙醇后相比纯柴油 NO_x 排放量降低, 在掺烧 15% 乙醇基础上加装电控 EGR 系统后, NO_x 的排放量继续降低, 降低 20% 以上, 尤其是大负荷下 NO_x 降低明显, 这是因为大负荷下 EGR 率较大。使用 15% 乙醇柴油混合燃料的 DL190-12 型发动机再匹配 EGR 技术相比原柴油机 NO_x 排放量降低了 50%~90%。

4 结束语

以 DL190-12 型柴油机为样机开发了 EGR 电子控制系统的硬件和控制软件。设计了控制单元、数据采集信号处理电路、执行机构驱动电路和显示电路, 并进行集成。控制软件采用了模块化设计。掺烧 15% 乙醇的 DL190-12 型柴油机匹配 EGR 电

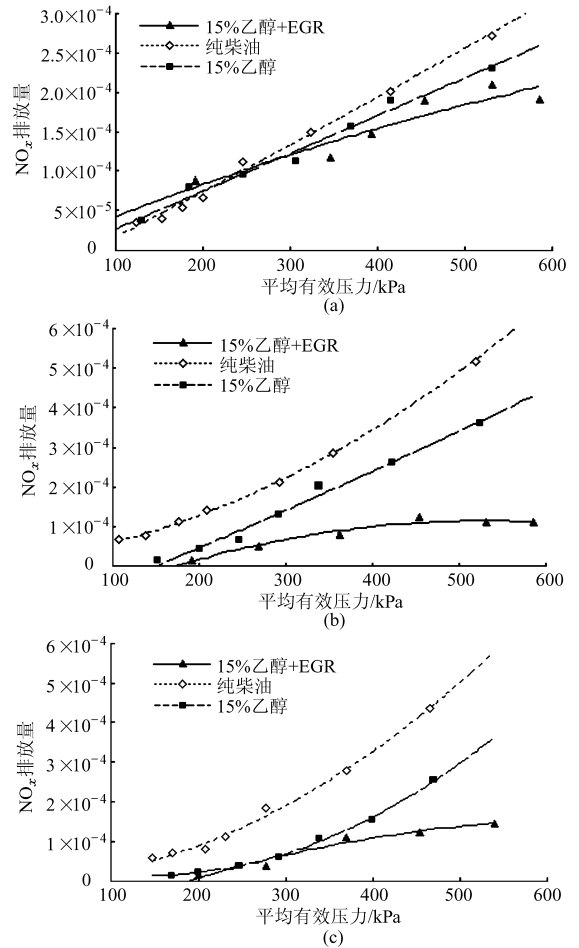


图 10 NO_x 排放量的对比曲线

Fig. 10 Comparison of NO_x emission

(a) $n = 1\,200\text{ r/min}$ (b) $n = 1\,500\text{ r/min}$ (c) $n = 1\,800\text{ r/min}$

子控制系统后, 发动机台架实验结果表明 NO_x 排放量相比原柴油机下降 50%~90%。

参 考 文 献

- 陈群. CA498 直喷式柴油机 EGR 系统的试验研究[D]. 长春: 吉林工业大学, 2000.
Chen Qun. Experimental research of CA498 DI diesel EGR system[D]. Changchun: Jilin University of Technology, 2000. (in Chinese)
- 李超. 基于步进电机的柴油机 EGR 系统开发与试验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
Li Chao. Development and experimental research based on the stepper motor diesel EGR system[D]. Changchun: Jilin University, 2006. (in Chinese)
- 张振东, 方毅博, 陈振天. 增压直喷式柴油机 EGR 率测试与控制[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 8~10.
Zhang Zhendong, Fang Yibo, Chen Zhentian, et al. Measurement and control of EGR rate for turbocharged DI engine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 8~10. (in Chinese)
- 傅旭光, 郭新民, 刘永进, 等. 柴油机废气再循环冷却控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 34~36.
Fu Xuguang, Guo Xinmin, Liu Yongjin, et al. Design and experiment of control system for EGR cooling system on diesel engine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 34~36. (in Chinese)
- 杨帅, 李秀元, 应启夏, 等. EGR 率对柴油机排放特性影响的试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 29~33.
Yang Shuai, Li Xiuyuan, Ying Qijia, et al. EGR rates optimization rule and experimental study about influence of EGR rate on diesel engine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 29~33. (in Chinese)
- 胡大可, 李培弘, 方路平. 基于单片机 8051 的嵌入式开发指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- 黄华. 乙醇柴油混合燃料发动机电控 EGR 系统的开发研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2007.
Huang Hua. Study and development of electronic control EGR system for engine with ethanol-diesel blend fuel[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2007. (in Chinese)