

基于国产化 MCU 的 ECU 硬件设计研究

郭一鸣¹, 龚思扬¹, 肖树欣¹, 肖维¹, 周慧芳¹
(1. 中国北方发动机研究所, 天津 300400)

Research on ECU Hardware Design Based on Localized MCU

GUO Yiming¹, GONG Siyang¹, XIAO Shuxin¹, XIAO Wei¹, ZHOU Huifang¹
(1.China North Engine Research Institute, TianJin, China)

Abstract: According to the performance requirements of the current diesel engine control system and the domestic development needs, we introduce a kind of electronic control system hardware design based on the CCFC2003PT 32 bit single chip microcomputer independently developed by Suzhou C*Core Technology Co., Ltd. The design method of modular design is adopted to develop the electronic control unit hardware, including power module, signal acquisition and processing module, output and drive module, communication module, etc. The MCU core chip calculates the amount of fuel supply and the start time of fuel supply according to the input signals of each sensor and the memory program, and sends an execution signal to the execution original. The control principle of the diesel engine electronic control system includes the operation principle, the control principle, the storage principle, the data transmission principle and the program design, and realizes the control of the injection amount, the injection pulse width, the injection timing control, and the protection of the diesel engine. Based on the above module design, the software program is written to realize the control of diesel engine.

摘要: 根据当前柴油机控制系统的性能要求和国产化的研制需求, 本文介绍一种基于苏州国芯自主研发的 CCFC2003PT 的 32 位单片机的电控系统硬件设计研究, 采用模块化的设计方法开发电控单元硬件, 包括电源模块、信号采集处理模块、输出与驱动模块、通讯模块等。MCU 核心芯片根据各传感器输入信号和内存程序, 计算出供油量和供油开始时刻, 并向执行原件发出执行信号, 柴油机电控系统控制原理包括运算原理、控制原理、存储原理、数据传输原理及程序设计, 实现喷油量控制、喷油脉宽、喷油正时控制、柴油机保护等, 基于以上模块设计进行软件程序编写, 实现柴油机的控制。

关键词: 柴油机; 国产化芯片; 电控单元

Key words: Diesel engine; Localization of chips; Electronic control unit

中图分类号: TK422

文献标识码: A

0 引言

柴油机自被广泛应用于各行各业以来, 其动力性的效率高、节省能源、广泛的功率范围等优点, 使其应用范围和时间应用保证了其使用的持久性。但随着全球能源问题和环境情况的日新月异, 传统的柴油机不能满足人们对节能、减排、经济、高效的更高性能的要求。柴油机电控技术作为柴油机的

核心技术, 是解决当前继续解决的重要手段。从 20 世纪 70 年代开始, 柴油发动机的电控技术随着微处理器的发展应运而生, 到 20 世纪 80 年代柴油机电控技术开始推向市场, 使用微控制器的电控系统不断增加, 控制任务随着时间的发展由简单到复杂。ECU 通过分析处理采集到的各传感器温度、压力、位置等信息, 确定发动机当前的转速、喷油提前角、

收稿日期:

基金项目:

作者简介: 郭一鸣 (1993-), 男, 硕士生, 主要研究方向为柴油机电控系统, E-mail:474157691@qq.com;

龚思扬 (联系人), E-mail:531289141@qq.com。

喷油量、喷油压力等参数，再通过调整喷油器和燃油计量单元等执行器，控制不同工况下的发动机，得到合适的空燃比，达到省油、降噪、减排的效果[1]。

中共中央领导人曾经明确指出，核心技术是国之重器。在技术发展过程中，最关键核心的技术就是要在核心芯片发展中立足于自立自强、自主创新。芯片产业是中国高科技产业不可或缺的一个重要组成部分，国产柴油机电控技术的发展也同样受制于国产芯片的发展进程，本文介绍基于国芯自主研发的 CCFC2003PT 的 32 位单片机芯片而创建的柴油机电控系统，能够提供一种国产化单片机的柴油机电控硬件设计思路。

1 ECU 基本架构

在现行柴油机电控系统设计中，仍遵循模块化的设计原则，通过将设计需求分解，通过模块化的设计简化设计、调试、修改整个硬件设计流程。常见的 ECU 硬件设计模块主要包括：CPU 模块、电源电路模块、传感器和开关信号采集和分析模块、驱动电路模块、通讯模块等。如图 1 所示为 ECU 硬件设计逻辑框图。

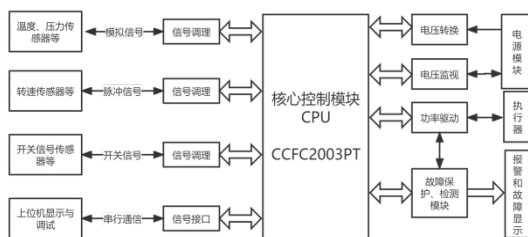


图 1 ECU 硬件设计逻辑框图

2 ECU 硬件设计思路

对于传统柴油发动机电控系统的设计结合系统性的性能分析，联系实际的功能、性能、经济性等方面综合性考虑，对传感器、微控制器和执行器进行选型。但对于国产化电控系统的设计，最重要的还要结合当前我国元器件国产化的水平和能力，基于控制系统可靠性分析，选择合适的控制芯片和其他元器件[2]。

2.1 微控制器选型

ECU 对各种信号的采集处理、数据参数的计算分析，发动机运行控制策略的实现、控制指令的生成下发、数据间的通信交换等方面都要依靠 MCU

（微控制器）的分析计算处理才能得以实现，可以看出，MCU 能够直接影响 ECU 的性能。对现行和在研的单体泵、高压共轨等柴油发动机的电控系统信号系统不仅存在信号的输入、输出，霍尔和磁电等转速信号的处理，各信号之间的协同控制，故障诊断和显示等方面，并且 MCU 也需要处理运算策略、运行参数和 MAP 图之间的逻辑，所以 MCU 需要比较强的运算能力[3]。

在现有国产化的研究能力下，协同苏州国芯一同研发了型号为 CCFC2003PT 的 32 位单片机，CCFC2003PT 是苏州国芯自主设计的一款基于 PowerPC 指令集 MCU 芯片，其 CPU 采用国芯 C2003 CPU，具备一个 DMA，集成 SRAM 控制器，独立的代码闪存和数据闪存，3 路 CAN 总线控制器，两组 eMIOS，2 路 Lin 控制器，一个 ADC 和其他外围模块。CCFC2003PT 芯片正常工作频率在 80MHz。CCFC2003PT 芯片工作温度 $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 。CCFC2003PT 芯片设计、生产加工和封装测试全部实现国产化。该单片机的参数如下表 1 所示。

国产 32 位单片机功能线路板主要实现采集各种开关为两线制，一端为 ECU 输入的 24V，一端接信号端。开关接口电路主要实现将开关状态转换为 CPU 可识别的信号。传感器和开关接口的状态、通过 CPLD 控制升压及驱动电磁阀、接受 CPLD 反馈的故障状态、驱动继电器/电磁阀的同时判断其故障状态以及与 CAN 接口电路进行通信。另外，配置有串行数据记录功能、关键电压检测功能、程序状态指示功能及低压产生电路。

表 1 CCFC2003PT 主要参数

项目	参数
C2003 CPU 内核	兼容 NXP PowerPC e200z3 核
eFlash	支持 64 位 SEC/DED ECC 保护，Bank0 为 512KB 闪存，Bank1 为 1024KB 闪存
SRAM	128KB 静态存储单元
BAM 模块	支持串行下载代码（CAN 或者 Lin）
DSPI 接口	3 路
ADC 模块	支持 36 通道，10 位精度
LinFlex 接口	2 路
SIUL 模块	1 个
FlexCAN 接口	3 路，CAN 总线全兼容 2.0B

	版本
I2C 接口	2 路
eMIOS 模块	2 组,2 路定时器各支持 28 个通道,一个全局分频器;输入脉冲宽度和周期监测;变模计数器;输入脉冲宽度/频率调制
EBI 接口	每个片选支持 256MB,支持 8 位/16 位和 32 位设备
封装形式	208-Pin LQFP
温度范围	工作温度-40℃~125℃,存储温度-55℃~150℃

2. 2 电源模块电路设计

电源电路主要实现将系统供电转换成不同的直流电,为整个系统供电,并具备输入电源滤波功能、软关断功能、系统供电检测功能、输出短路保护功能、防反接功能等。在研柴油发动机由车上电源供电,其供电范围要求在电源电压波动 16~32V 范围内可正常工作,所有模块工作电压包括:单 5V 供电,±12V 电源对输入信号进行滤波和放大处理,24V 电源作为主电源输出、开关信号的输出和驱动执行部件,50V 电源驱动喷油器电磁阀,通信模块需要 DC/DC 隔离。

ECU 的电源模块分为高压和低压模块,高压模块使用自行设计的升压电路,在喷油器工作前将所提供的输出电压,升至 50V 用于驱动输出,其功能在保证可靠性的基础上,进行最小化设计,能够在宽范围输入情况下电压稳定、具有很强的带载能力。低压模块包括信号处理和通信模块,多采用 DC/DC 电源模块进行电压转换,具有稳定性好和可靠性高等优点。电源系统框图如图 2 所示^[4]。

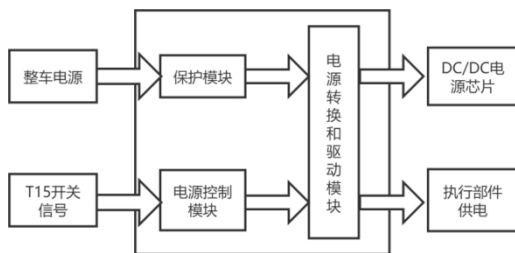


图 2 电源模块设计框图

2. 3 信号处理模块设计

信号处理模块是 ECU 的重要组成部分,能否快

速采集信号,并将信号处理的准确、及时、稳定的信息,直接决定整个电控系统的快速反应能力、可靠性和安全性。在本论文设计的基于国产化 32 位微控制器内已经集成了 A/D 模块,但实际在 ECU 复杂的工作环境下,结合现行的国产化传感器等信号输入部件的实际能力,还需要外部的信号处理模块对输入的信号进行滤波、消抖、限幅、调整等处理,从而能够让微控制器更流畅和高可靠性地去处理输入信号^[5]。

以某温度信号处理电路为例,如图 3 所示为某温度信号的处理电路,信号处理电路将传感器采集的信号进行滤波和放大处理,防止信号输入端的信号不稳定造成采集的信号波动影响驱动电路的使能和故障的判断;如图对处理电路的电源供电都进行对地滤波处理,保证电源供电的可靠性;信号输出端增加稳压电路设计,保证传入 CPU 信号的可靠和稳定。如图 3 所示,排温传感器引出线为两根,一根为信号线,另一根为接地线。排温传感器采用 K 型热电偶,输出信号为毫伏级:0~800℃对应 0~33.277mV,下限温度-100℃时输出-3.55mV,上线 1200℃时输出 48.838mV。排温传感器接口电路的功能主要是将传感器的弱信号放大,转换成 CPU 可接收的电压信号。

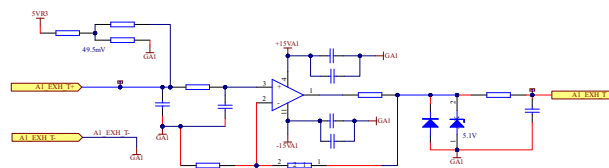


图 3 某温度信号处理电路

柴油机 ECU 需要处理的传感器信号主要分为模拟信号、脉冲信号和开关信号这几类,其中,模拟信号主要来自于进气温度传感器、大气压力传感器、增压压力传感器、共轨管压力传感器、机油压力传感器、机油温度传感器、燃油温度传感器、冷却液温度传感器、加速踏板传感器和 VNT 位置传感器;脉冲信号主要来自于曲轴位置和凸轮轴位置传感器;开关信号主要来自钥匙开关^[6]。

2. 4 功率驱动模块设计

柴油机电磁阀驱动电路,包括驱动电源模块设计、高位驱动模块设计、低位驱动模块设计、电磁阀电流检测模块设计、电磁阀驱动电路模块设计。驱动电源模块设计包括 24V、12V 和 5V 的使用,12V 和 5V 电源均由车载 24V 电源转换而来,用于控制和处理电路的芯片供电和使能端使用。高位驱动电

路采用分时驱动的方式，由升压电路将电压升至 48V，驱动电磁阀打开，继而由 24V 的电源来进行电磁阀的驱动并将其维持在开启状态，待控制信号发生变化时，关闭喷油器结束喷油状态^[7]。

升压电路主要是通过 CPLD 控制将 24V 电压升到两路 48V，分别为 A 组和 B 组驱动电路提供高压，并实时监测 48V 电压是否达到反馈到 CPLD，形成闭环控制。升压电路采用 BOOST 升压式设计，升压过程中，CPLD 实时监控电容电压值，辅助升压稳定可控。其中电压采集为模拟部分，升压主线路为功率部分，采用差分放大器将所需信号转为差分信号后与设定值进行比较，确定采集值是否达到设定限值。低位驱动模块协同高位驱动模块共同决定电磁阀的通断。在电磁阀驱动电路中，通过采样电阻将电流信号转换为电压信号，经过放大器放大后，与设定好的电压信号进行比较，从而决定电磁阀的通断控制。



图 4 驱动电流信号波形

2. 5 通信模块分析

当前柴油机电控系统 ECU 主要采用 CAN 通信方式，分别用于车体通信、实现预留标定调试功能等。CAN 接口电路主要实现为 CPU 与外围上位机通信建立链路。CAN 通信主要采用内部集成 CAN 收发器及隔离供电的芯片 ISOCAN 实现，只需单 5V 供电^[8]。同时为保证通信质量，增加 RC 低通滤波。当前主要的通信方式包括：CAN 通信、MIC 通信和 Flexray 通信等，根据不同的整车通信方式，配合使用不同的通信模式和通信协议等。

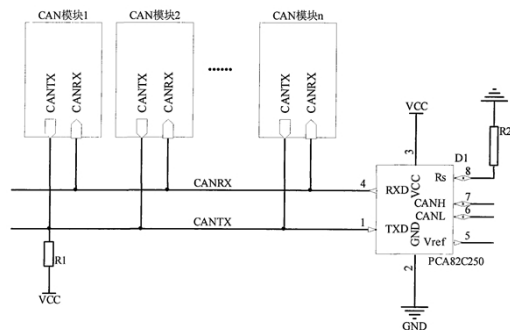


图 5 CAN 通信模式

3 结语

ECU 是以单片机为核心而组成的电子控制装置，具有很强的运算和逻辑判断功能，ECU 也是电控系统的控制核心。本文介绍的以苏州国芯的 32 位单片机 CCFC2003PT 为核心的国产化 ECU 硬件设计思路，主要作用是对输入接口电路的信号进行判断、演算、分析处理后，将结果变成控制指令输出给输出接口电路。在综合考虑柴油机运行环境的恶劣性，既要保证安全性和稳定性和可靠性，也要实现控制的实时性和有效性。对以后我国全国产化的 ECU 硬件设计起到了很好的参考价值。

参考文献：

- [1] 国产芯片崛起 国科微电子三线出击[J]. 刘启诚. 通信世界, 2016(09)
- [2] 32 位微控制器在柴油机电控喷油系统中的应用[J]. 常久鹏, 张幽彤, 程昌圻. 汽车技术, 1999(01)
- [3] 基于电路仿真的高压共轨电磁阀驱动电路设计[J]. 郭修其;周文华;郑朝武. 浙江大学学报(工学版), 2011(05)
- [4] 柴油机电控单元电源系统电路设计[J]. 陆召振;周树艳;陆伟宏;王宁. 汽车电器, 2012(06)
- [5] 柴油机高压共轨系统电子控制单元硬件的研究与开发[D]. 魏朝廷. 昆明理工大学, 2014
- [6] 基于电流特征值的高压共轨柴油机喷油器驱动电路故障诊断及补偿处理系统设计[J]. 郭树满;陈礼勇;刘二喜;吴松林;苏万华. 内燃机学报, 2011(05)
- [7] 柴油机高压共轨喷油系统的研究[D]. 何双杰. 杭州电子科技大学, 2018
- [8] 基于 CAN 总线下串口通讯在车载监测中的应用[J]. 李威;严良文;钱峰峰. 工业控制计算机, 2019(02)