

# 基于 LabVIEW 的电子节气门开度闭环控制系统设计<sup>①</sup>

蒋 艳, 钱伟康, 倪元鸿

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

**摘 要:** 设计了基于 LabVIEW 2010 平台实现对汽车电子节气门蝶阀开度的闭环控制系统。系统选用 NI 的高速 M 系列 USB-6251 数据采集板卡采集从节气门位置传感器反馈的电压信号, 且输出两路互补 PWM 信号控制节气门体中的直流电机。结合 PID 积分分离控制算法, 即当节气门蝶阀开度变化较小时采用 PID 算法, 当角度变化较大时采用 PD 算法。实验证明系统编程简单, 人机交互方便, 开发周期短, 闭环控制效果良好, 具有实际的应用价值。

**关键词:** 电子节气门; LabVIEW; PID

## Design of Closed-loop Control System for Electronic Throttle Valve Based on LabVIEW

JIANG Yan, QIAN Wei-Kang, NI Yuan-Hong

(College of Optoelectronic Information and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The paper designs the closed-loop control system for automotive electronic throttle valve opening which is based on LabVIEW 2010 platform. System uses NI high-speed M-Series USB-6251 data acquisition board to collect feedback voltage signal from the throttle position sensor and then outputs two complementary PWM signals to control DC motor which is in throttle body. System chooses PID control algorithm with integral separation, that is to say, when the throttle valve opening change is small, system uses PID algorithm, otherwise uses PD algorithm. Experiments show that system has the advantages of simple programming, convenient human-computer interaction, short development cycles and good closed-loop control, so this research has practical value in real life.

**Key words:** electronic throttle control; LabVIEW; PID

汽车节气门的作用是控制进入发动机的空气流量。为了精确控制发动机的进气量, 以获得令人满意的动力性、较好的油耗和排放性能, 于是出现了电子节气门控制 (Electronic Throttle Control, 简称 ETC)。本文设计的电子节气门蝶阀开度的闭环控制系统, 旨在根据不同工况给出符合要求的混合气体比。

系统采用美国国家仪器 (National Instruments, NI) 有限公司的 LabVIEW 2010 作为软件平台。相比其他传统编程软件, 如 Visual Basic, Visual C++ 等, LabVIEW 的表现形式和功能类似于实际的仪器, 为用户提供简明、直观、易用的图形编程方式, 且内置信号采集、测量分析与数据显示等功能。

### 1 工作原理及系统设计组成

电子节气门体由节气门、驱动电机、减速齿轮、复位弹簧、节气门开度位置传感器等组成, 代替了传统的由加速踏板到节气门体的机械传动机构。它通过传感器测量加速踏板位置信号 (即驾驶员的意图), 经电子控制单元运算处理后驱动节气门体上的电动机转动, 从而带动节气门盘片旋转到指定开度, 节气门开度传感器再将节气门实际位置反馈给控制器。系统结构示意图如图 1 所示。节气门轴与一个复位弹簧相连, 复位弹簧与电机反方向作用于节气门, 这样在系统失效的情况下, 复位弹簧能使节气门的盘片复位到初始位置即微小开度, 驾驶员能够将车缓慢行驶到安

① 收稿时间:2011-05-24;收到修改稿时间:2011-06-25

全地点。节气门的电控单元可随发动机工况的变化，同时按发动机的动力性、经济性、减少排放有害物等要求配制一个最佳的混和气成分<sup>[1]</sup>。

### 2 系统软件实现

LabVIEW 友好的图形界面，直观的编辑方式使其在各种参数测试、故障诊断、性能检测、过程控制等领域有着广泛应用。本文采用 LabVIEW 的数据采集 (Data Acquisition -DAQ) 技术和 PID 工具包，实现了对电子节气门蝶阀开度的闭环控制。根据给定的参考输入计算出两路互补 PWM 信号的占空比来控制直流电机转动的方向，直流电机将带动节气门阀门打开到指定位置，节气门的位置传感器再将节气门的实际开度反馈到 LabVIEW，实现闭环控制。闭环系统前面板框图如图 2 所示。

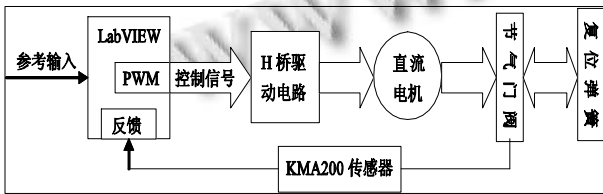


图 1 ETC 闭环控制结构框图

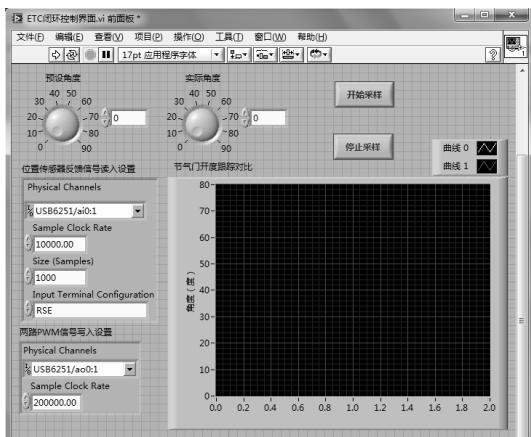


图 2 LabVIEW 闭环系统前面板

电子节气门角度传感器是控制系统中非常重要的器件。传统的电位计式传感器由于其触点不断滑动，久而久之容易磨损，造成信号采集的可靠性和使用寿命的下降，因此本系统采用基于磁阻效应的 NXP 的 KMA200 非接触式传感器。当外加磁场偏离金属的内部磁化方向时，金属的电阻减小，其上的输出电压也随之变化。该电压信号直接反映节气门的开度位置及

变化速率。ETC 系统采用两个节气门开度传感器，设计成电阻值反向变化，输出电压互补的方式。从控制的角度讲，使用一个传感器就可以使系统正常运转，但采用冗余设计可使两个传感器互相检测，当其中一个传感器出现故障或电源电压低于规定值时及时识别，可大大增加系统的可靠性，保证行车的安全。

#### 2.1 积分分离 PID 控制算法

PID 控制是自动控制中控制性能最强的基本调节方式，它具有原理简单，易于实现，鲁棒性强和无需精确知道被控对象的数学模型等优点。但是计算机控制是一种采样控制，它只能根据采样时刻的偏差值计算控制量。因此连续 PID 控制算法不能直接使用，需要采用离散化方法。在计算机 PID 控制中，采用的是数字 PID 控制器。

为了便于用计算机实现 PID 控制，必须把模拟 PID 离散化，按模拟 PID 控制算法，以一系列的采样时刻点代表连续时间以矩形法数值积分近似代替积分，以一阶后向查分近似代替微分，离散 PID 控制表达式如<sup>[2]</sup>：

$$u(k) = K_p \left( e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_D}{T} (e(k) - e(k-1)) \right) \\ = K_p e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j)T + K_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (1)$$

式中， $u(k)$  为控制器的输出值， $K_p$  为比例系数，为  $T_i$  积分时间常数， $T_D$  为微分时间常数  $K_I = \frac{K_p}{T_i}$ ， $K_D = K_p T_D$ ， $T$  为采样周期， $k$  为采样信号， $k = 1, 2, \dots$ ， $e(k-1)$  和  $e(k)$  分别为第  $k-1$  和第  $k$  时刻所得的偏差信号。

系统加入积分控制的主要作用是提高稳态精度，减少或消除误差。为了加快控制响应速度，同时避免引起振荡，采用了 PID 积分分离算法。积分分离控制基本思路是当被控量与设定值偏差较大时，取消积分作用，以免造成积分积累，引起系统较大的超调，甚至较大的震荡；当被控量接近给定值时，引入积分控制。

因此公式 (1) 可表示为<sup>[2]</sup>：

$$u(k) = K_p e(k) + \beta K_I \sum_{j=0}^k e(j)T + K_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (2)$$

式中， $\beta$  为规定的门限值， $|e(k)| \leq \varepsilon$  时， $\beta = 1$ ， $|e(k)| > \varepsilon$  时， $\beta = 0$ 。

该控制器可辨识对象特征参数实时改变控制策略，以节气门目标开度和实际开度的误差做为 PID 控

制器的输入，以节气门位置传感器信号作为控制反馈量，采用 PID 的输出与开环基值线性组合构成控制量（直流电机 PWM 占空比），控制器以输出 PWM 占空比控制节气门电机的转向。如图 3 所示为基于 LabVIEW 平台实现的 PID 积分分离算法。采用 DAQ Assistant 实现反馈信号的数据采集，由于位置传感器反馈的是电压信号，于是将采集到的数据平均法滤波后近似换算成角度信号。在实现 PID 积分分离算法时，采用条件结构判断给定角度与实际角度差值的大小（即  $\varepsilon = 450$ ），分别设定相对应的  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_D$ 。可见采用 LabVIEW 的 PID 工具包使得程序变得简单易懂，加快了程序开发。

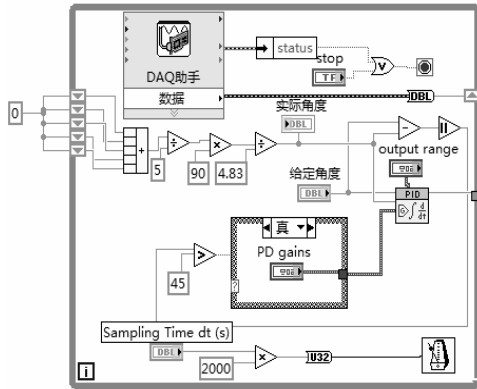


图 3 ID 积分分离算法实现

### 2.2 LabVIEW 数据采集模块

USB-6251 是一款 USB 高速 M 系列多功能 DAQ 模块，在高采样率下也能保持高精度。它有 16 路模拟输入（16 位），单通道可达到 1.25 M/s 采样率（总计 1 MS/s），2 路模拟输出（16 位，2.8 MS/s），完全满足设计的要求。

数据采集模块采用虚拟仪器与数据采集板卡相配套的 DAQmx 采集模块搭建，节气门位置传感器的两

路反馈信号由 USB-6251 的 ai0 和 ai1 两路模拟输入通道读入，两路互补 PWM 方波信号由 USB-6251 的 ao0 和 ao1 两路模拟输出通道输出，最后将采集数据实时显示于波形图上，进行实时监测。如图 4 所示为节气门位置传感器反馈电压信号的读取模块。LabVIEW DAQmx 读取函数将每通道采样数指定为-1，使得函数在运行的过程中读取所有保存在缓冲区中的采样，并以波形的形式返回数据。波形将不断输出直至 while 循环退出和 NI DAQmx 清除任务执行。

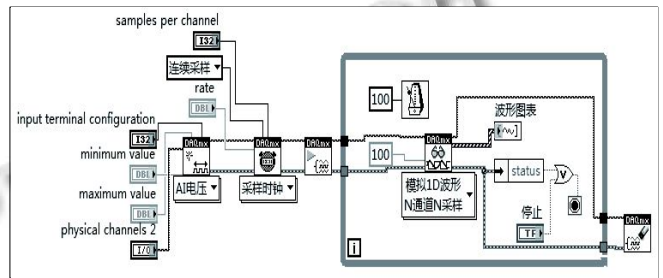


图 4 节气门位置传感器反馈电压信号读入

目前大部分电子节气门体都采用直流电机作为执行器，驱动电路较多采用 PWM 脉宽调制驱动方式。设计中采用 Infineon Technologies 专为直流电机应用设计的 5 安 H 桥 TLE 7209-2R 电路，它完全适用于节气门电机大电流双向驱动。PWM 脉冲信号通过调节占空比控制电机的平均电流，从而控制电机转矩，电机输出转矩和脉宽调制信号的占空比成正比。改变 PWM 信号占空比，可使节气门盘片停留在任意要求的位置。经过试验测试，当占空比为 50% 时，电机输出转矩与回位弹簧阻力矩保持平衡，节气门开度不变；当占空比大于 60% 时，电机驱动力矩克服回位弹簧阻力矩，节气门开度增大；反之，当占空比小于 40% 时，电机输出力矩小于回位弹簧阻力矩，节气门开度变小直至关闭。如图 5 所示为采用 DAQmx 写入模块生成的两路互补 PWM 方波信号。

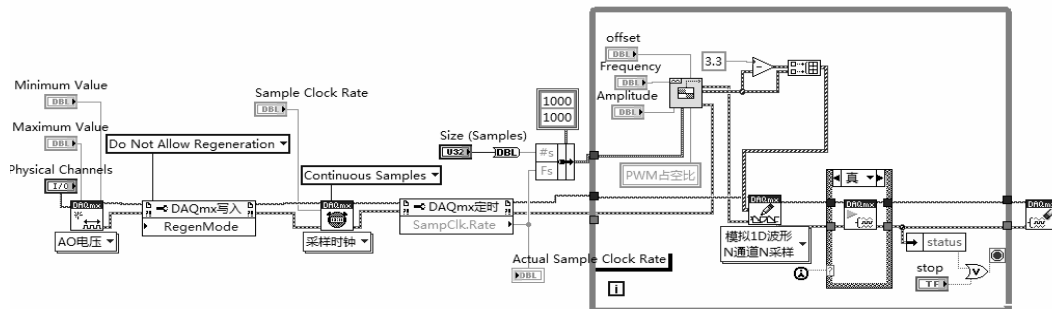


图 5 两路互补 PWM 方波信号写入

这种驱动方式下电流连续、低速特性好,另外节气门停在某位置时,盘片高频微颤有助于减小静摩擦。为了产生高频连续的方波信号,在 LabVIEW 的软件编程中需要将 DAQmx 写入函数属性节点的重生成模式设为“Do Not Allow Regeneration”,这样数据采集口缓冲区的数据会按照系统原先设定的采样频率实时地读取。图 6 是由示波器实测生成的频率为 12KHz,占空比为 60%的两路互补 PWM 信号。

### 2.3 实验结果

为了方便验证电子节气门的响应性能,设定节气门角度位置从 30°到 70°不断跳变的响应曲线,横坐标为 0 到 2s 的时间轴,纵坐标为 0°到 80°的角度轴。从图 7 中可以看出,系统响应曲线较好,在 0.08s 附近就基本达到稳定,跟踪效果良好,基本达到设计需求。其它界面编程软件如 Visual Basic, Visual C++ 等也可以实现闭环控制系统的设计,但是 LabVIEW 简明易用的图形编程方式较直观,与之相配套的 NI 数据采集卡为数据采集及数据处理提供了便捷,大大缩短了开发周期。在实际应用中,摩擦力矩、非线性弹簧、气流扰动等非线性因素不可忽视,且不同环境对技术参数有特殊要求,因此系统结构上还需分别进行有针对性的算法补偿,这将是下一步需要重点研究的内容。

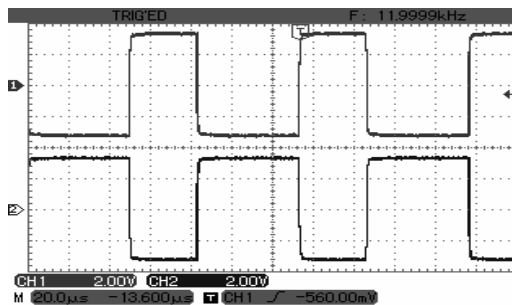


图 6 示波器 12KHz 的 PWM 互补方波信号

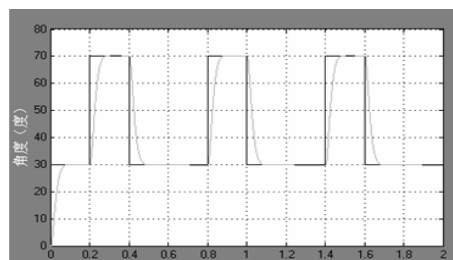


图 7 仿真结果

### 3 结论

随着对汽车综合性能要求及电子化程度的不断提高,由发动机控制系统直接管理的电子节气门技术得到了快速发展。文中选用 NI 公司的数据采集卡 USB-6251,采用 LabVIEW 的数据采集技术和 PID 工具包,实现了对电子节气门蝶阀开度的闭环控制,结果证明系统开发周期短,实验效果良好。但不足的是没有对非线性因素进行算法补偿,今后还需做进一步研究,以对系统做出更精确的控制。

### 参考文献

- 1 钱伟康,李峰,钱建秋,等.汽车电子节气门的控制策略研究.测控技术,2010,29(2):47-51.
- 2 高金源,夏洁.计算机控制系统.北京:清华大学出版社,2007.156-161.
- 3 林静,林振宇,等.LabVIEW 虚拟仪器程序设计从入门到精通.北京:人民邮电出版社,2010.329-343.
- 4 胡明慧,朱冬升,邵惠鹏,等.电子节气门控制器的设计.自动化仪表,2010,31(2):25-30.
- 5 谢三毛.基于 LabVIEW 的直流电机转速 PID 控制系统设计.防爆电机,2009,44(4):15-16.
- 6 Qian WK, Wang L. Practical Solution for Automotive Electronic Throttle Control Based on FPGA, International Conference on Signal Processing Proceedings,2008,10(9): 26-29.