

汽车电控机械式自动变速系统 微机控制系统及过程控制算法设计*

葛 舜 邢忠宝

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 采用 8098 单片机为系统的控制中心, 完成以下工作, 对微机控制系统的硬件电路结构进行了设计和调试; 对车辆起步过程中的离合器行程实施多目标综合优化与模糊控制相结合的脉宽调制控制, 同时使油门开度的控制及时适应其目标值(即司机意图)和离合器行程控制的变化, 较完善地解决了以单片机同时控制两个外设的 CPU 占用问题; 提出换挡过程中对油门实施数字 PD 调节, 以减小换挡冲击和振荡, 实现较平稳换挡的方案; 编制了基本能够符合车辆复杂的操纵规程, 适应千变万化的实时工况的主控程序, 达到按照车辆的动态三参数换挡规律实现自动换挡, 和对紧急制动、停车等各种工况的及时、正确处理; 针对汽车运行环境恶劣的情况, 提出了较为具体的系统抗干扰方案。

关键词: 起步; 自动换挡; 多目标综合优化; 模糊控制; 脉宽调制; 数字 PD 调节; 抗干扰

1 引言

汽车工业的发展是一个国家工业化水平高低的重要标志, 随着汽车运输所占比重的日益增加, 对汽车的节能、环保、安全性和舒适性等性能提出了更高标准的要求, 传统的技术已不能满足汽车发展的需要, 这促使电子技术在汽车工业中得到了广泛应用, 以至于汽车在质量和水平可用汽车电子化的程度和水平来衡量。汽车电子化已成为夺取未来汽车市场的有效手段。

汽车电子技术不只受到汽车行业的重视, 目前几乎所有电子和计算机公司都瞄准了汽车电子产品市场, 美国 Motorola、德国西门子、荷兰 Philips 等公司都专门成立了从事该方面研究的分部, 并取得重大成就。近年来飞速发展的微型计算机智能技术及大规模集成电路和高性能传感器的开发和应用, 使汽车的性能指标达到了前所未有的高度, 对汽车工业的发展产生了强烈的刺激和推动作用。

国外汽车商将电子技术大量应用于发动机, 换挡变速系统, 安全气囊等的自动控制从而大大提高了汽车性能, 我国汽车电子产品的开发、生产和应用方兴未艾, 汽车电控机械式自动变

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1995年4月26日

速系统的开发和研制课题是国家自然科学基金资助项目和美国福特公司在华合作投资项目之一。

目前,我国国产汽车上绝大多数采用手动变速系统,驾驶人员的技术水平和主观因素对行车影响很大。驾驶技术欠佳容易造成换挡冲击,乘客不适,甚至发动机频繁熄火,导致燃料经济性下降。将最新的自动控制和微机技术应用于汽车的变速系统,实现复杂操作的自动化,满足降低燃油消耗,提高乘坐舒适性等技术要求,是车辆向高性能发展的重要标志。自动操纵降低了对司机技术水平的要求,使非职业司机也能做到高水平行车,同时解除了频繁操作、换挡对司机造成的疲劳,提高了行驶的安全性。

以当前较先进的微处理机为控制核心的电控机械式自动变速系统具有以下不同于传统变速系统的优点:

(1)微机可存储和处理多种控制规律,适应不同工况的不同要求,可实现更复杂,更合理的控制。本文中涉及到的动态三参数换挡规律就必须通过微机方可实现。

(2)控制精度高、反应快、动作准确。

(3)能与整车的其它系统控制良好接轨。电控机械式变速系统的改造投入少,价格低廉,易于实现,有利于大批投产,极具实际意义。

2 微机控制系统硬件电路设计

该控制系统采用 8098 单片机为主控芯片,其结构示意图如图 1。本控制电路较以往的采

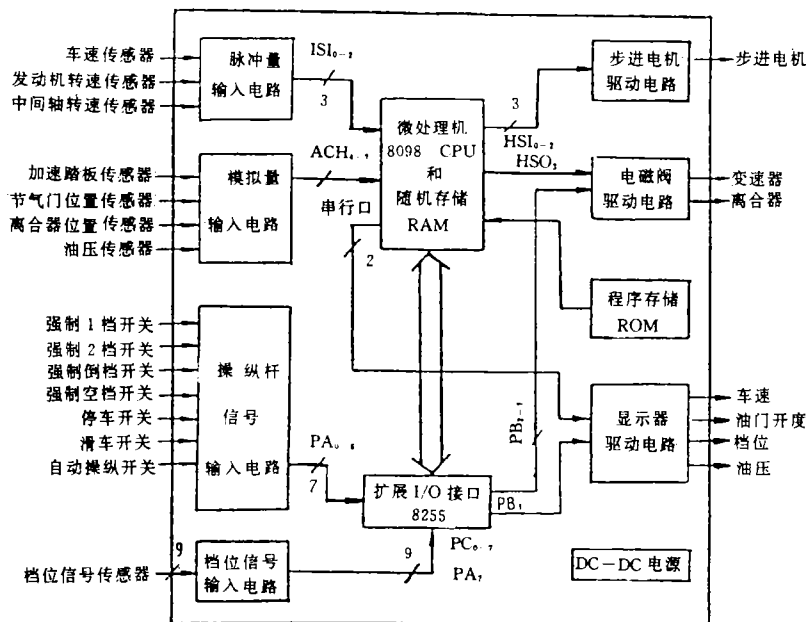


图 1 结构示意图

用两片 8031 为主控芯片,以满足多输入、多输出控制要求的方案,在电路结构上得到了大大简化,减少了故障点,提高了系统集成度和可靠性。主控芯片的升级还为更加完善的控制算法提

供了硬件接口及运算速度和精度上的便利,为软件开发提供了广阔余地。这些都有助于推进该控制系统的产品化进程。

3 起步过程离合器、油门的控制

(1)离合器接合速度的快慢,对起步冲击度和离合器滑摩损耗产生很大影响,因此,接合速度的控制是起步控制的关键。

接合速度的调节是通过对离合器电磁阀进行脉宽调制实现的,因此,一定调制周期 T_c 下,电磁阀的有效开启时间 t_w 就成为我们控制调节的对象。由于阀动作存在机械延时,产生了脉宽调制的调节死区和饱和区。为避免进入调速死区, T_c 不可取得过小;但若 T_c 取得过大,则控制精度下降。为此,本设计采用脉频调制与脉宽调制相结合的调速方法,即按不同的起步模式(共分三种),经计算,分别取得可满足该模式调速要求的最小周期作为这种起步模式下的调制周期。这样既满足了调速要求,又提高了控制精度。

影响离合器接合的主要因素有 β 、 Δn_{cc} 和 i_g ,接合控制首先是要针对这三个参数的组合工况,求取理想的离合器接合速度。理想的起步控制要求冲击度和滑摩损耗均达到最小,但由冲击度和滑摩功的函数表达可知,两者的寻优是矛盾的,因此,只能对这两个目标函数进行综合优化,得到任一 β 、 Δn_{cc} 和 i_g 组合工况下,使离合器接合速度较理想的控制量 t_w 的折中值。由于优化计算复杂,实时控制中只能采用离散数表的形式,将有限的优化结果存于微机作为控制依据。

由于 β 、 Δn_{cc} 等参数在控制中随时可能发生变化,因此每过两个调制周期,即重新进行一次采样(采样周期 $T_c = 2T_0$),并根据新的 β 、 Δn_{cc} 采样值,对控制决策进行调整。

鉴于汽车运行工况的千变万化,优化结果离散数表可包容的工况有限;同时考虑到,第一采样周期后,参数 $d\beta/dt$ 和 $\Delta \dot{n}_{cc}$ 能够更好地反映系统的动态状况,因此,在对控制决策进行动态调整时,本设计没有采用重新查询优化结果表获取新控制量 t_{w1} 的常规方法,而是从第二采样周期采用以 $\Delta\beta$ 对控制量 t_w 的比例调节,产生调节是 Δt_{w1} ,和以 Δn_{cc} 与 $\Delta \dot{n}_{cc}$ 对 t_w 的模糊控制调节,得到 Δt_{w2} 。两者经加权平均,得出 $\Delta t_w = a_1 \Delta t_{w1} + a_2 \Delta t_{w2}$,从而获得新的控制量 $t_{w2} = t_w + \Delta t_w$ 。

$\Delta\beta$ 是前后两相邻采样周期采得的 β 的差值,考虑到不同的 β 值下,相同的 $\Delta\beta$ 对 t_w 产生的调节效果也应不同。所以,比例调节系数 k_1 取为随 β 不同而相应变化的变量,从而使控制更好地适应不同工况。控制量 $\Delta\beta$ 在此实质相当于参量 $d\beta/dt$, $d\beta/dt = \Delta\beta/T_c = \Delta\beta/2T_0$ 。

以 Δn_{cc} 和 $\Delta \dot{n}_{cc}$ 为输入进行双模 Fuzzy 控制调节的方框图如图 2,图中设有软件开关,其作用是判定:

①当 Δn_{cc} 大于某一极限值 Δn_{ccm} 时, Fuzzy 调节已无法满足调节要求,需重新查询优化结果表,获取新的控制量 t_{w1} ;

②当 $\Delta n_{cc} \leq \Delta n_{ccm}$ 时,采用 Fuzzy 控制,得到调节量 Δt_{w2}

考虑到不同的 β 可能引起的转速差 Δn_{cc} 变化范围不同,不同的起步模式对冲击度的要求亦不相同,因此,根据 β 的不同, $\Delta \dot{n}_{cc}$ 、 Δn_{cc} 的基本论域和 Δn_{ccm} 的取值亦不同。所以, β 实质上也参与了模糊调节,这完全符合 t_w 同时受 β 和 Δn_{cc} 影响的控制要求;而控制输出 Δt_{w2} 的论域取值则以上一周期的控制量 t_w 为依据,所以在本设计中, Fuzzy 控制输入、输出的量化因子均采用

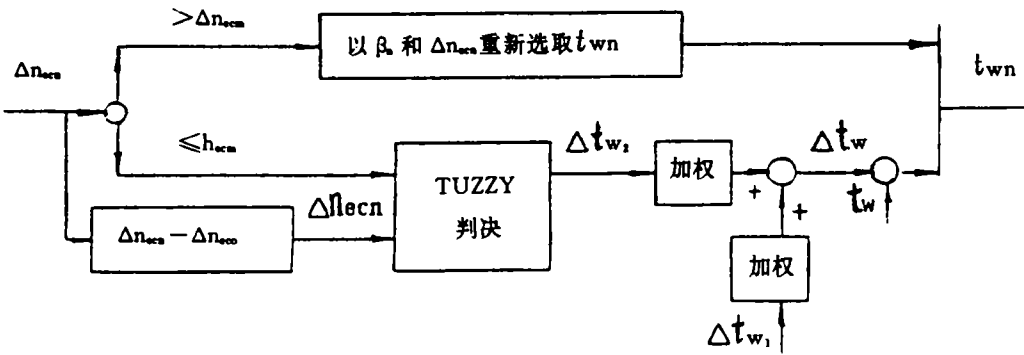


图 2 双模 Fuzzy 控制调节方框图

变量,从而提高了控制的适应性和合理性。

本文提出的这一调速方案,在原有控制量 $\beta, \Delta n_{sc}$ 和 i_t 的基础上,又引入参数 $\Delta\beta$ 和 Δn_{ic} ,并采用了变系数比例调节和变量化因子模糊控制,使控制不但能够更好地适应不同工况的要求,而且更具预见性,改善了系统控制的动态特性。同时,允许在微机中只存入对较关键工况的优化结果,从而减小了数表容量,节省了存储空间。

(2)起步中油门控制应配合离合器的调速控制,实现如图 3 所示的变化规律。图中②为离合器接合特性曲线,以上所述的接合调速即是对离合器行程 L, BC 段的斜率或者说对时间历程 Δt 长短的调节;①为油门开度 α 的变化曲线。当离合器接合控制基本完成(图中 C 点)时,油门开度也应接近似线性的增长规律,由 α_0 基本达到目标开度 α_1 (α_1 等于 β 采样值)。

油门增长速度的控制是通过改变油门步进电机步进间隔 t_s 实现的,在第一个采样周期(采得 $\beta = \beta_1$),通过公式(1)建立油门控制量 t_s 与离合器控制量 Δt 之间关系:

$$t_s = \frac{\Delta t}{N_1} = \frac{\Delta t}{57 \times (\beta_1 - \alpha_0)} \quad (1)$$

式中 N_1 为油门由实际开度 α_0 增长至目标开度 β_1 需步进的步数。

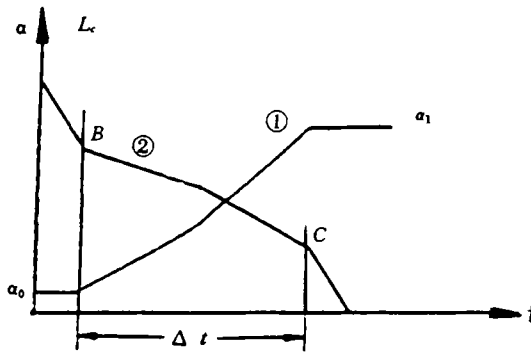


图 3 油门控制与离合器调速控制的配合

在以后的采样周期中,离合器接合速度经动态调整,或采得的 β 值发生变化时,应对式(1)中的 Δt 和 N_1 作相应的调整,以实现油门变化速率随离合器接合速度和 β 采样值作适应性变化的控制规律。

(3)离合器与油门控制的配合:

欲按图 3 实现离合器与油门的同步控制,就需解决它们对 CPU 的占用问题。利用 8098HSO 通道具备的不由 CPU 参与,即可触发事件的优越特性,将油门步进电机的触发事件写入 HSO 的 CAM 寄存器中,令其自动触发,而 CPU 则主要用于离合器控制。为减少中断的使用,离合器控制脉宽的设置通过多次调用 1ms 延时程序实现,并在每次调用前查询 CAM 寄

存储器。当查得写入的步进电机触发事件已触发完毕时,对 CAM 重新加载。如此可实现良好的

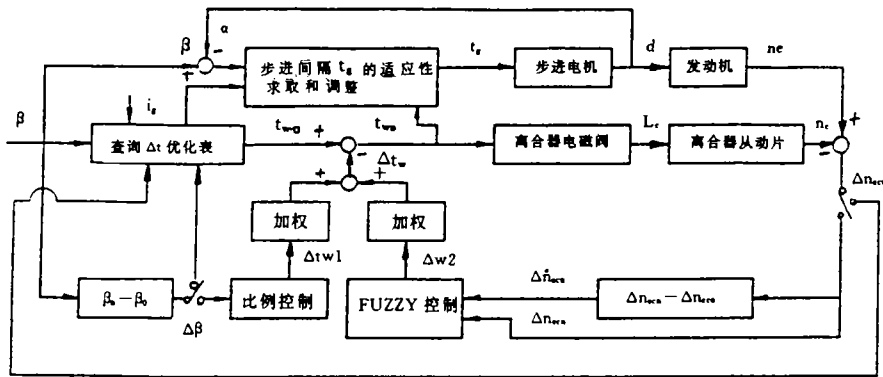


图 4 起步过程的控制方框图

离合器、油门配合控制,从而解决了以往控制方案未能解决的技术难题。

整个起步过程的控制方框图如图 4 所示,图中 $\Delta\beta$ 处所设软件开关,是当由前后两次采得的 β 值得知所要求的起步模式发生变化时,由于单纯调节 t_w 不能满足控制要求,还需改变调制周期 T_o ,因此需重新查询优化结果表。

4 按动态三参数换档规律实现自动换档

动态三参数换档规律是自动变速的理论基础,该规律是根据行车任一时刻的油门开度 α 、车速 V 和加速度 a ,决定该时刻可使车辆操纵特性最佳的档位,并驱动换档执行机构实施换档。由于该规律计算相当复杂,所以采取离线计算,将结果以三维数表形式存于微机,作为换档判决的依据。为保证换档控制及时、正确,在存储空间允许的条件下,尽量对数表进行细分,并编制了一维线性插值和三维数表查询程序。

5 降档过程中的发动机转速控制

降档过程要满足快速性和平稳性的要求,就需要减小转速差 Δn_{12} 和 Δn_{ms} ,而减小这两个转速差的途径就是通过调节油门开度 α ,使发动机转速 n_e 快速趋近某一目标值。鉴于以往采用比例控制效果不理想,本文对发动机与油门之间的响应关系进行了细致分析,改进了调节方法,克服了控制的盲目性。

根据实验测得的发动机、油门响应曲线,确定了 n_e 与 α 之间带有纯滞后的一阶惯性环节的传递函数形式和具体参数,利用微分控制具有减小系统超调,加快系统调整速度等有助于改善系统动态特性的优点,采用了以斯密特预估器做纯滞后补偿的数字 PD 调节,其方框图如图 5。

图中 $W(s) = k_p(1 + T_o S)$,以扩充响应曲线法整定参数 k_p 和 T_o 。

将纯滞后环节 $e^{-\tau_1 s}$ 简化为 $1 / [(1 + \tau_1 s / 2)^2]$ 后,可很方便地求出数字调节中的各个系数,经 n_e, α 采样和运算,可实现较快速、稳定的 n_e 调节。

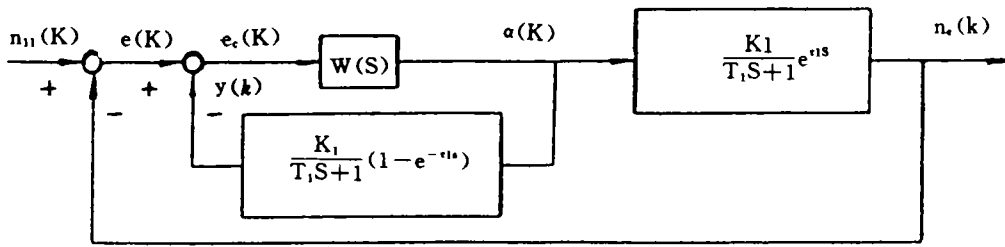


图 5 数字 PD 调节方框图

6 系统抗干扰及可靠性设计

本文分析了系统中的主要干扰来源，并有针对地从硬、软件两方面进行了抗干扰设计：

(1) 硬件抗干扰

① 对于电源、接地系统采用以 DC—DC 电源单独为微机供电，以分立稳压块分别为各个功能电路板供电的抗干扰措施；

② 对于长线传输引起的 I/O 通道干扰采用光电隔离、双绞线传输及阻抗匹配等抗干扰措施；

③ 对空间干扰采用多种屏蔽。

(2) 软件抗干扰

① 对数据采集实施数字滤波，以消除野点数据和误差积累；

② 对关键的控制、判决条件实施软件冗余，即进行多次或循环采样和检查，以避免干扰引起决策失误；

③ 采用闭环控制，并设置控制状态寄存单元，实现对控制的监视和及时恢复；

④ 编程中尽量避免采用中断源；

⑤ 启动 watchdog 定时器，设置软件陷阱，使运行异常的程序及时得以恢复。

另外，对整个变速系统采用冗余结构，以便实现自动操纵与手动操纵的自由切换。

7 仿真试验及结论

由于客观条件限制，本文通过仿真试验进行了控制算法的调试

微机控制系统的仿真包括两大部分：

(1) 变速系统机械执行机构模型仿真

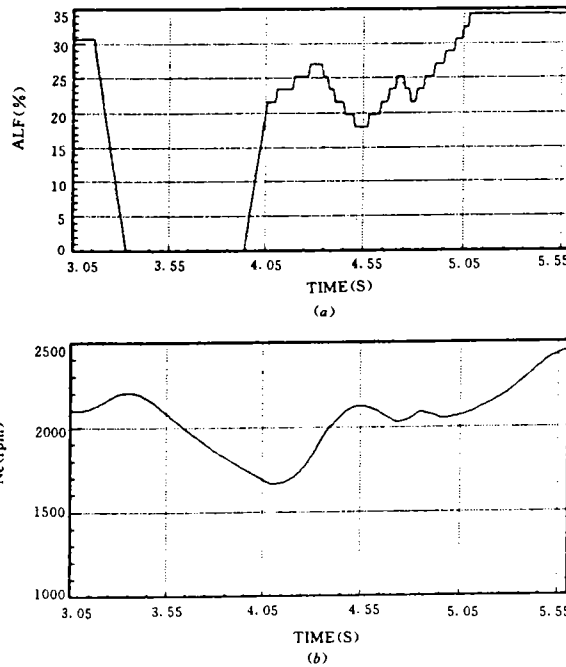


图 6 降档过程中发动机转速 n_c 控制的仿真效果

7 仿真试验及结论

由于客观条件限制，本文通过仿真试验进行了控制算法的调试

微机控制系统的仿真包括两大部分：

(1) 变速系统机械执行机构模型仿真

(2)微机控制算法仿真。

作者主要完成了第二部分的仿真,并将两部分进行了接口:将本文提出的油门、离合器控制算法的仿真结果作用于执行机构仿真模型,得到控制效果 n_e 和 n_c ,再将其作为控制参数,参与控制决策的调整。

图6为降档过程中发动机转速 n_e 控制的仿真结果,由图中可知对油门开度 ALF(%)采用 PD 调节(图中时间轴 $t \in [3.95, 4.95s]$)后, n_e 快速达到了目标值(2050rpm),且超调量仅为 60rpm,远小于只采用比例调节的调节时间(约 0.8s)和超调量(约 160rpm)。

在仿真调试了起步、换档中需要确定的有关参数后,把对离合器行程 L_c 和油门开度 ALF 采用简单的延时、比例控制(如图7(a))产生的控制效果 n_e, n_c (如图7(b)),与按本文所述的控制算法进行离合器、油门控制的控制效果(如图8)作以比较可见,后者消除了前者在起步和换档过程中引起的 n_e, n_c 突变(分别在 $t=0.89s$ 处和 $t=4.62s$ 处),减小了换档过程 n_e, n_c 的振荡($t \in [4.65s, 6s]$ 区间),控制效果令人满意。

参考文献

- [1]葛安林编著,车辆自动变速理论及设计.北京:机械工业出版社
- [2]谭浩强编著,FORTRAN 77 语言结构化程序设计.北京:清华大学出版社
- [3]葛安林,武文治等,自动换档过程中的动态闭环控制.汽车工程,1994,16(5)

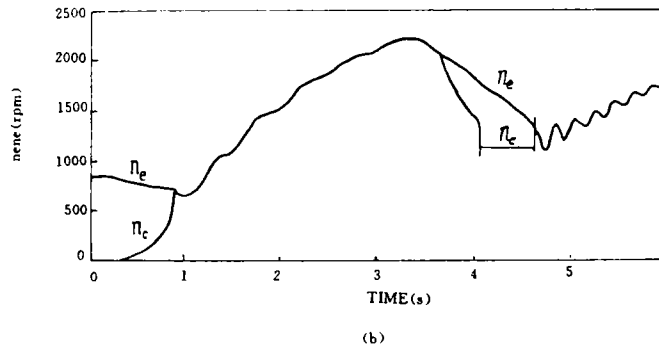
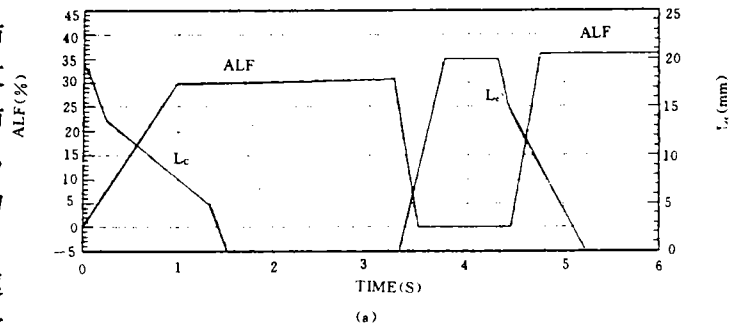
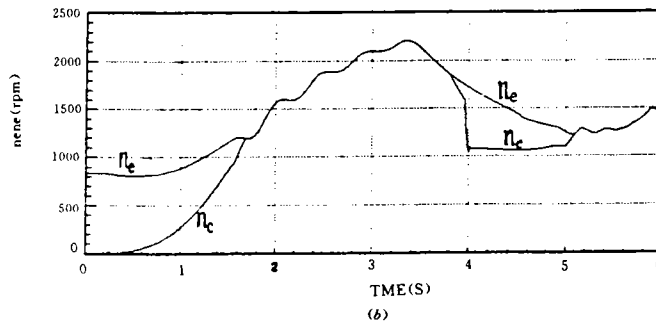
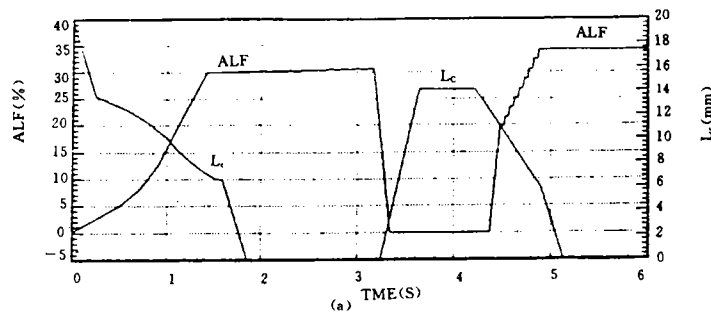
图7 延时比例控制及其产生的效果 n_e, n_c 

图8 控制算法进行离合器、油门控制的效果

- [4]葛安林,吴锦秋,郭万富,离合器的最佳接合规律. 汽车工程,1988,10(2)
- [5]Toshiaki Tateno et al. , Automatic Transmission Apparatus for Vehicle. United States Patent, No. 4899857, Feb. 13, 1990
- [6]Yasuo Hojo et al. , Toyota Five-Speed Automatic Transmission with Application of Modern Control Theory, SAE. 920610

**Microcomputer Control System and Process control
Algorithm Design for Vehicle Electronically Controlled
Automatic Mechanical Transmission System**

Ge Shun, Xing Zhongbao

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of sciences, Changchun 130022)*

Abstract

The study is aimed at constructing a control system by applying the 8098 microprocessor as the intellectual control unit. The researches and practice have been done as follows: Finishing the hardware design and on-line debugging of the microcontroller system; Implementing the pulse-width modulating control of the clutch engaging position through the combination of multi-aim overall optimization and fuzzy control, with the throttle opening control adapting the changes of the target position (i. e, the driver's intentional throttle opening) and maiching different clutch engaging control, and moreover, resolving the time distribution of controlling the two devices synchronously with one CPU properly; Putting forward to applying the digital proportional-differential modulator of throttle opening to weaken the shifting jerks and oscillation, and realize smooth shifting; Designing the main control program satisfying the intricate operating process and variety of driving cases to fulfil automatic shifting according to "the vehicle dynamic 3-parameter shifting schedule" and deal with the possible cases such as urgent braking, normal stopping etc. , promptly and correctly; Offering some detail jamproof methods corresponding to the adverse operating circumstances of vehicle.

Key words: Start moving, Automatic shifting, Multi-aim overall optimization, Fuzzy control, Pulse-width modulation, Digital PD modulation, Jamproof methods