

## 工程车辆电控机液复合传动试验台的设计与实现

刘钊, 张昱, 吴仁智, 朱玉田  
(同济大学机械工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 通过电子控制器的控制, 采用双变量闭式液压回路和机械式变速箱可以组成一个复合传动方案。在工程车辆中这是一种新颖的传动方案, 它具有诸多适于工程车辆的优异性能。针对这种传动方案设计了一个传动试验台。该试验台可以方便地实现各种传动控制策略, 进而对其控制下的传动特性进行试验研究。

**关键词:** 复合传动; 控制策略; 传动试验台; 传动特性

**中图分类号:** TH137 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3881(2008)1-095-3

### The Design of Electronic Controlled Mechanical Hydraulic Compound Transmission Test-bed for Engineering Vehicles

LIU Zhao, ZHANG Yu, WU Renzhi, ZHU Yutian

(Mechanical Engineering College of Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** The bivariate hydraulic circuit and mechanical gearbox together with the electronic controller can form a compound transmission scheme. This transmission scheme is novel for engineering vehicles. It can perform very well in engineering machines. Based on the novel transmission scheme, a transmission test-bed was designed. The test-bed can carry out all sorts of transmission control strategy, and can be used to test the drive characteristic of the control strategy.

**Keywords:** Compound transmission; Control strategy; Transmission test-bed; Drive characteristic

#### 0 前言

采用变量液压泵、变量马达和机械式变速箱复合传动, 并通过电子控制器进行控制的传动方案在工程机械上是最近才采用的。这种传动方案将机械传动和液压传动的优点集于一身, 又充分利用了电控的手段, 非常易于实现各种传动控制策略。针对这种新颖的传动方案, 我们组建了一个工程车辆传动试验台。该试验台可以模拟各种实际工况对一定控制策略下的传动特性进行试验研究, 其试验过程非常易于监测和控制。

#### 1 新颖复合传动方案介绍

单纯的机械传动不能实现无级调速, 换挡操纵也比较麻烦。纯液压传动具有良好的低速负荷特性, 易于实现其运动参数(流量)和动力参数(压力)的控制, 也可以进行无级调速及功率限制, 从而满足工程机械的工作要求。但是单一的液压传动在全功率下的传动变速范围比较窄, 最大输出力和最大输出速度乘积与最大功率之比值较小。

机械液压复合传动方案可以结合两者优点, 实现大范围的无级调速, 变速能力强并能够充分地利用发动机功率, 其牵引特性曲线更接近于理想特性曲线。相比常用的单变(如变量泵和定量马达)液压回路, 该方案采用的双变(变量泵和变量马达)液压回路

扩展了传动的变速范围。机液复合传动大大扩展了全功率下的传动变速范围。这种新颖的传动方案可以充分利用电控手段, 方便地结合各种算法实现自动控制, 融入各种传动控制策略。同时, 还可以减少手动换挡操纵, 并使传动链获得很好的柔性。传动方案如图1所示。

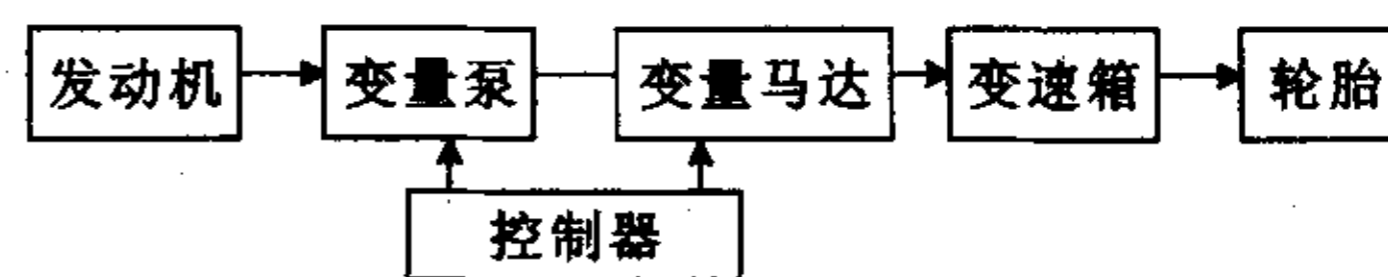


图1 试验台传动方案示意图

通过对电子控制器编写相应的控制程序, 可以实现调速、换挡和功率限制等各种控制策略。在不改变发动机输出功率的情况下, 方便地实现诸如恒速、恒功率等常用的控制工况。结合发动机油门开度的调节, 还可以减少燃油的空耗实现节能。

对功率进行限制, 通常可通过两种方法实现。当负载增大导致油泵出口压力升高到一定值时, 控制器自动增大马达的排量, 从而降低油泵的出口压力, 使得发动机不出现功率超限。另一种方法是将主泵出口的压力信号和控制泵排量的电压信号在控制器中进行处理, 当二者的乘积达到设定值时则立即限制泵的排量。

由于工程机械外负载常常变化剧烈, 恒功率工况

收稿日期: 2007-03-12

作者简介: 刘钊, 男, 1958年出生, 博士, 教授, 博士生导师。电话: 021-69584575, 13818606324。E-mail: cruisechang@21cn.com。

下, 通过自适应地改变速度可以应对负载的改变。同样地, 也可以实现恒速控制。换档时, 通过对传动系统的运动学特性和加载后的动力学特性的试验研究, 可得出换档时速度变化规律和液压系统的流量-压力变化规律。

## 2 试验台具体设计

为了试验工程车辆在一定传动控制策略下的传动特性, 进而分析改进系统的传动控制算法, 针对新颖的复合传动方案我们组建了一个工程车辆传动试验台。试验台控制台可以实施各种操纵动作及观测试验效果, 安装的各种高精度压力、温度及速度传感器可以快速准确地采集所需的各种试验数据。这些数据可以作为控制器闭环控制的反馈值也可以用于试验结果的分析。

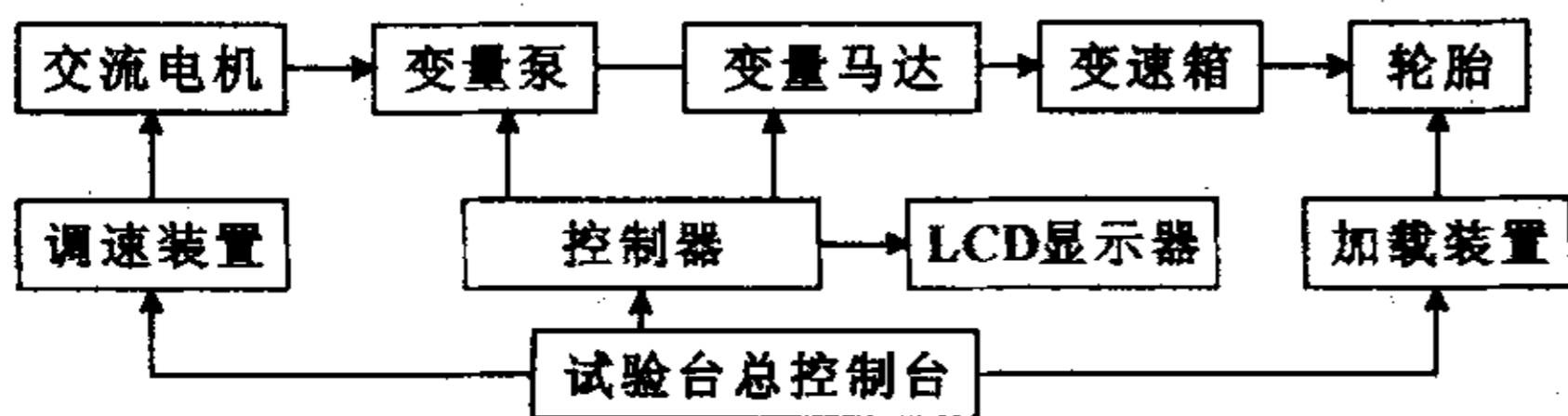


图2 试验台安装结构框架图

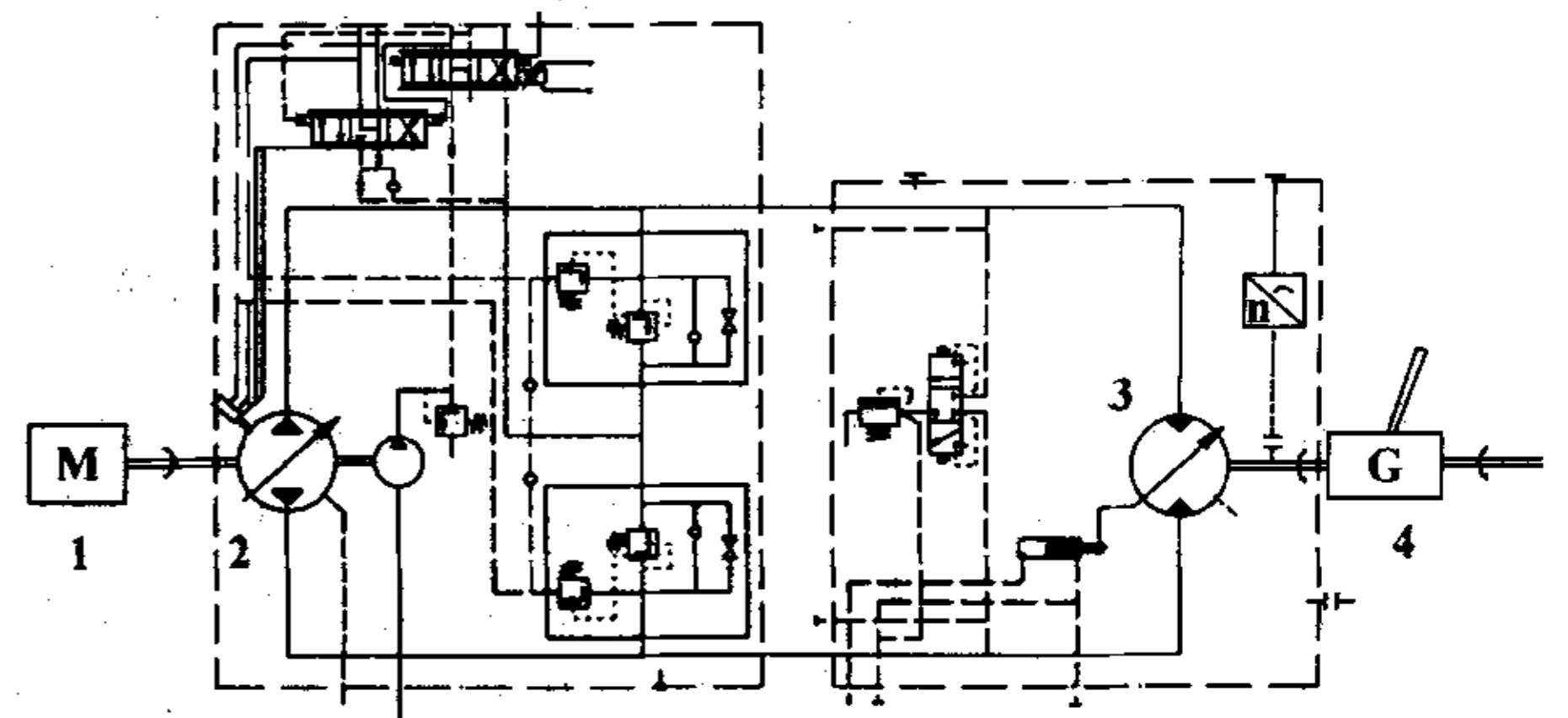
试验台的结构框架如图2所示。交流电机作为动力源用于模拟发动机, 试验台的总控制台对调速装置和加载装置进行控制。调速装置可以模拟发动机的动力特性, 而加载装置可以模拟各种实际工况给轮胎施加可调的载荷。控制台上安装有各种按钮和操作手柄, 通过它们可以将数字量或模拟量输入信号作为指令传达给控制器。总控制台还是设备的人机交互中心, 跟控制器连接的LCD显示器可以实时地显示控制对象的各参数值。

试验台预配了能实现大部分传动策略的部件。电机采用37.5kW的三相交流电机, 用一个柱塞式变量泵与具有高低二档的变量马达构成闭式液压行走回路, 并由辅助泵对之进行补油。液压马达再经过一个三档的机械式变速箱驱动后桥, 通过液压机械串联式复合传动灵活地实现分段无级调速。预配的电子控制器采用Sauer-Danfoss公司生产的Mc050-010型控制器。该控制器以DSP为核心, 具有强大的计算能力和丰富的I/O资源, 可以满足复杂的控制要求并做出快速的动态响应。

通过图形化编程方法可以便捷地写入或修改程序, 实现各种控制策略。控制对象的参数由传感器反馈到控制器后, 经由CAN总线传输可以将它们的参数值显示于彩色的LCD显示器上。各部分完整地构建出了一个方便研究工程车辆传动策略的试验平台。图3所示为试验台行走系统传动简图。

此外, 系统还装有液压转向和冷却系统。系统预装的以上设备可以实现大多数的传动控制策略, 如遇

特殊情况, 也可以对各元件进行灵活的更换。



1—三相交流电机 2—变量柱塞泵 3—变量马达  
4—手动三档变速箱

图3 试验台行走系统传动简图

试验台可以进行调速、换档及功率限制等各种传动控制策略的试验, 实现诸如恒功率、恒速、恒压等控制工况。通过记录不同载荷下的泵和马达的排量、车轮速度、系统油压等各种参数, 可以对各种控制策略下的传动特性进行分析, 进而改进控制算法。

## 3 调速控制策略研究与性能试验实例

调速控制策略的研究试验, 是为了测试一定调速控制策略下的车辆调速性能。另外, 在调定某速度后, 可以通过改变负载, 检验其保持速度恒定的能力。

试验台总控制台上安装有一个速度调节手柄, 它可以发送一个电位信号给控制器, 电压的大小对应于手柄的位置。控制器处理后通过PWM输出调节柱塞式变量泵的斜盘倾角, 继而改变泵的排量大小和方向。变量泵和变量马达的容积调速再结合换档变速箱的手动换档可以灵活地对速度输出进行调节。调速时, 速度传感器可以间隔很短地将车轮速度反馈给控制器。通过分析车轮速度的变化可以得知调速时冲击性、稳定性和响应速度等调速性能。

当手柄保持在某个位置时, 我们的控制目标是车轮能保持恒速。这时候, 试验人员改变车轮的载荷大小, 然后记录车轮速度的变化。在负载变化的情况下, 车轮速度波动越小则说明恒速控制策略的性能越佳。

这个试验中, 调速控制采用了PID算法, 程序将手柄输入的电位跟标准的VREF参考电压进行比较后转换成一个小精度的数字量从而使得手柄调节获得高分辨率的调节特性。这个值作为PID模块的设定值, 而转速传感器将当前车轮转速传回, 计算出速度后再反馈到PID模块的反馈端, 经PID处理后输出给PWM驱动模块驱动变量泵的调节线圈。这样手柄的拉推和停止就能实现车辆速度的调节和恒定。

在输入处理和负载反馈之后, 我们还采用了软件斜坡处理以确保系统调速和负载变化时的平稳性。负载值结合手柄的当前位置可以对PWM输出的最大值

进行定标限制。图4所示是该试验的控制模块图。

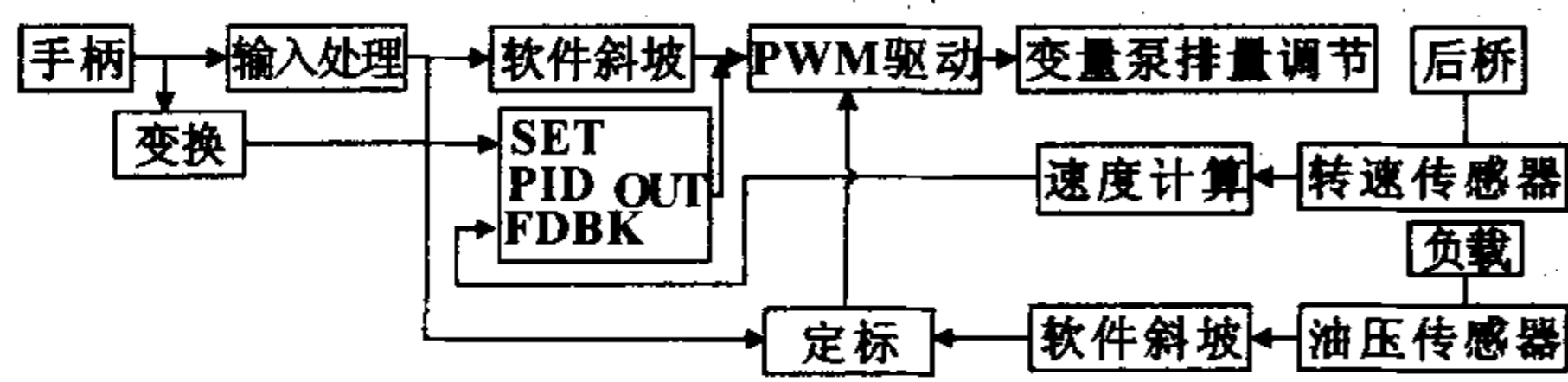


图4 行走系统PID控制模块图

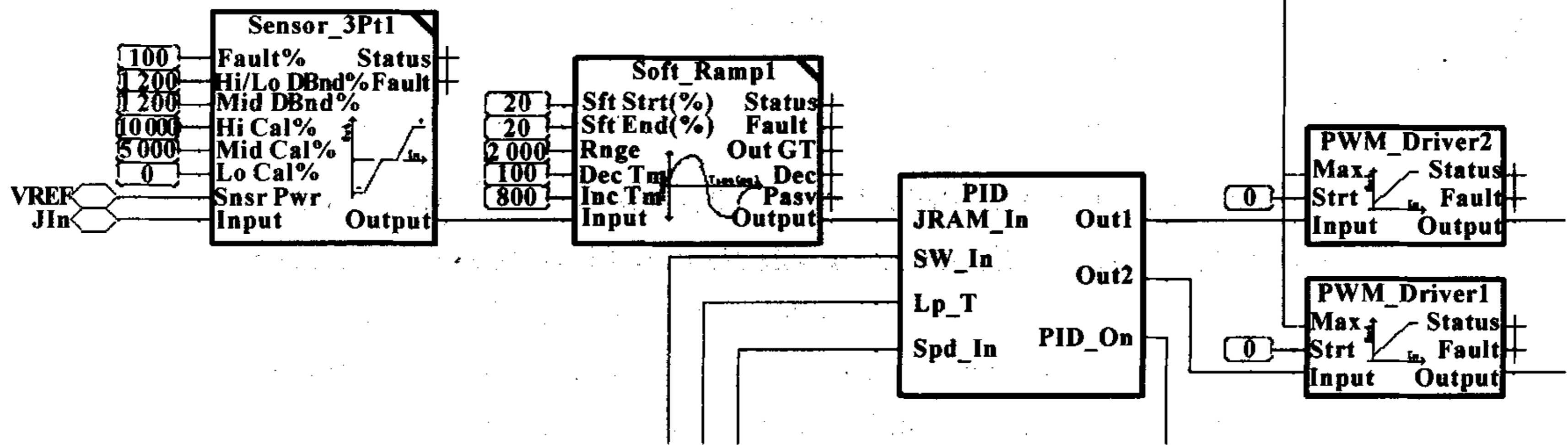


图5 图形化程序的部分截图

试验时，车速以0.1s更新一次的频率进行采集更新，同时还通过CAN线实时传输车速值并显示在LCD显示器上。经多次试验，调速时车辆速度变化平稳，响应快捷。手柄停止不动时，调节载荷的大小车辆速度能基本保持恒定。可知该PID调速控制策略是成功的，同时也表明这种新颖的复合传动方案是切实可行的。

#### 4 结论

采用双变液压回路和机械式变速箱复合传动，并通过电子控制器进行控制的新颖传动方案具有很多适于工程车辆的突出性能。针对该方案组建的试验台可以方便地实施各种控制策略，也非常便于分析控制对象的输入输出特性。该设备可以模拟各种实际工况，为工程车辆传动控制策略的研究提供了一个先进的试

由于控制器专用编程软件采用图形化模块式编程，因此可以高效地编写和调试控制程序。编译好的程序可经CAN总线写入控制器。

图5所示为手柄输入处理、软件斜坡、PID控制及PWM驱动图形化程序的部分模块图，其中PID模块还包含有子程序页面。

验平台。经运转试验，该试验台操作方便，测试数据准确可靠，性能稳定，能很好地满足工程车辆传动策略试验研究的要求。

#### 参考文献

- [1] 邓星钟. 机电传动控制 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1998.
- [2] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计 [M]. 七版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] Tsutomu Hayashi, Mitsuru Saito, Yoshihiro Yoshida, et al. Advanced hydro-mechanical transmission with high durability for small utility vehicles [C]. SAE Paper, 2001-01-08: 76.
- [4] 温虎, 向中凡. 一种新型多功能机械传动试验台的设计 [J]. 机械传动, 2004, 28 (4).

(上接第79页)

静态特性主要在闭环控制下测试得到的，测量了滞环和分辨率，滞环小于1%，分辨率高于0.03%。抗污染的能力强，达到了国际标准的要求，满足了伺服阀的工作需要。

#### 5 结束语

研制了一种压电直接驱动式伺服阀，该阀具有结构简单、响应快、分辨率高、无电磁干扰、易于控制的优点。

通过对压电驱动器和柔性铰链的分析认为，压电驱动器和柔性铰链完全适合精密伺服阀的工作要求，正确地选用压电叠堆和合理设计柔性铰链，可有效提高直动式压电伺服阀的工作性能。

试验结果分析表明：压电直接驱动式伺服阀可以满足现代精密高速控制系统的需要，拓宽了伺服阀的

应用领域，并可望在其它领域得到应用。

#### 参考文献

- [1] Lindler Jason E, Anderson Eric H. Piezoelectric direct driveservovalve [C]. In: SPIE. Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies, San Diego, 2002, California: The International Society for Optical Engineering, 2002: 488-496.
- [2] 王占林. 液压伺服控制 [M]. 北京航空学院出版社, 1993.
- [3] H. Ohuchi, K. Nakano, K. Uchino, S. Nomura, H. Fukunoto. Proc. Fluid Control & Measurement [M]. Tokyo: Pergamon Press, 1985.
- [4] 沈传亮, 程光明, 杨志刚. 新型直动式压电伺服阀 [J]. 机械工程学报, 2004, 40 (9).
- [5] 李少军, 李艳, 夏毅敏, 等. 压电执行器及其在高响应控制阀上的应用 [J]. 液压与气动, 1999 (3): 20-21.