

文章编号:1000-582X(2009)07-0775-07

AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统设计

刘振军,胡建军,文 韶,张志龙

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

摘 要:以电控机械式自动变速器(Automatic Manual Transmission, AMT)综合性能实验台数据采集与通信系统为研究对象,根据 AMT 综合性能实验台的测控要求,提出了 AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统的总体方案,构建了数据采集与通信系统的通信网络,完成了数据采集器的硬件与软件设计并进行了测试试验。试验表明所设计的数据采集与通信系统满足 AMT 综合性能实验台测控系统数据采集与数据通信的要求,为开展 AMT 的综合性能试验研究奠定了基础。

关键词:电控机械式自动变速器;数据采集;通信

中图分类号: TH 132.32

文献标志码: A

Design of data acquisition and communication system for AMT comprehensive performance test-bench

LIU Zhen-jun, HU Jian-jun, WEN Shao, ZHANG Zhi-long

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: AMT (Automatic Manual Transmission) comprehensive performance test is one of the main means to develop and evaluate AMT. An overall scheme of the data acquisition and communication system for AMT comprehensive performance test-bench is proposed according to the requirement of the test-bench, and a communication network of data acquisition and communication system is built. The hardware and software of data acquisition system are designed. The experiments show that the system meets the requirement of data acquisition and communication system for AMT comprehensive performance test-bench and it lays a foundation for AMT comprehensive test research.

Key words: automatic manual transmission; data acquisition; communication

电控机械式自动变速器(Automatic Manual Transmission, AMT)是近年来发展起来的一种新型自动变速技术,是适合中国汽车工业发展现实和具有很好产业化前景的自动变速技术。尽管国内外在 AMT 技术方面进行了大量研究,国外已实现产品化,但因 AMT 自身特性及技术复杂性,在国内实现 AMT 的应用还存在较多问题^[1-3]。建立 AMT

综合性能实验台,开展 AMT 综合性能试验是推进 AMT 技术发展的重要途径。AMT 综合性能实验台是一个复杂的机电系统^[4-6],要实现该系统上多个电控单元的复杂控制与通信以及多个运行参数的准确获取,设计一个功能完备的测控系统至关重要^[7-10]。

笔者以 AMT 综合性能实验台数据采集与通信

收稿日期:2009-02-25

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA110114)

作者简介:刘振军(1958-),男,重庆大学副教授,博士,主要从事车辆动力传动及其控制研究,(Tel) 023-65106506;
(E-mail) liuzj@cqu.edu.cn.

欢迎访问重庆大学期刊社 <http://qks.cqu.edu.cn>

系统为研究对象,在对其总体方案设计分析的基础上,进行了数据采集与通信系统的控制器硬件和软件的设计与开发。

1 系统总体方案设计

1.1 AMT 综合性能实验台的组成与测控要求

AMT 综合性能实验台由 5 部分组成,包括驱动部分、负载部分、仪器仪表与测量控制部分、计算机系统与软件部分以及机械与辅助设备部分。驱动部分根据试验要求主要是使用一台输出功率为 310 kW 的柴油发动机,发动机的 ECU 对外通信接口为 CANBUS。负载部分主要是使用 CAC 系列交流电力测功机,电力测功机由控制仪闭环控制,控制仪与主控系统采用 CAN 通信方式交换数据。计算机系统包括软件和硬件 2 个部分,主要用来模拟 AMT 的各种工作状况和考核 AMT 的性能指标,是整个试验的主系统。仪器仪表部分包括各种温控仪、油耗仪等,这些仪表中的相关信号要跟主系统之间进行通信,实现对试验保障系统的测控。

AMT 综合性能实验台要进行多种有关柴油发动机和 AMT 变速箱的试验,主要包括调速特性、万有特性、换挡特性以及负荷特性等试验。这些试验涉及到整个实验台的多个部分的协调运行,因此,实验台的测控系统要能实现准确的数据采集和实时的数据通信。同时由于实验台上有发动机、变频电动机和多种电控装置,致使实验台的工作环境会有较强的电磁干扰,这就要求所设计的测控系统具有较好的抗干扰能力。

1.2 AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统总体方案

AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统要把实验台上所有要测控的对象按照一定的通信方式连接,所要采集的数据通过传感器采集出来后传送到主系统中去。在 AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统中设计了一个数据采集控制器来完成上述任务。

AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统的通信主要采用基于 SAE J1939 技术规范的 CAN 通信和基于 RS-232-C 或 RS-458 的串口通信^[4]。CAN 控制器局部网由于其高性能、高可靠性、实时性等优点在现代汽车领域广泛应用,汽车发动机 ECU 以及 AMT 的变速器电控单元(TCU)都被设计成为 CAN 网络的一个节点,所以在实验台数据采集与通信系统中可以利用 CAN 网络建立起很好的数据互通网络。在没有 CAN 接口的仪器仪表等

控制器部分,建立起串口通信网络。

对于需要数据采集控制器单独采集的参数,通过选择合适的传感器,测量到相关测量值。然后把传感器的电压或电流信号传送到数据采集器,通过数据采集器的电路调理,发送到数据采集控制器的 ECU。通过 ECU 的数据处理转换,把转换后的数值通过串口传送到上位机,用于对整个实验台的测控。设计的 AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统总体方案如图 1 所示。

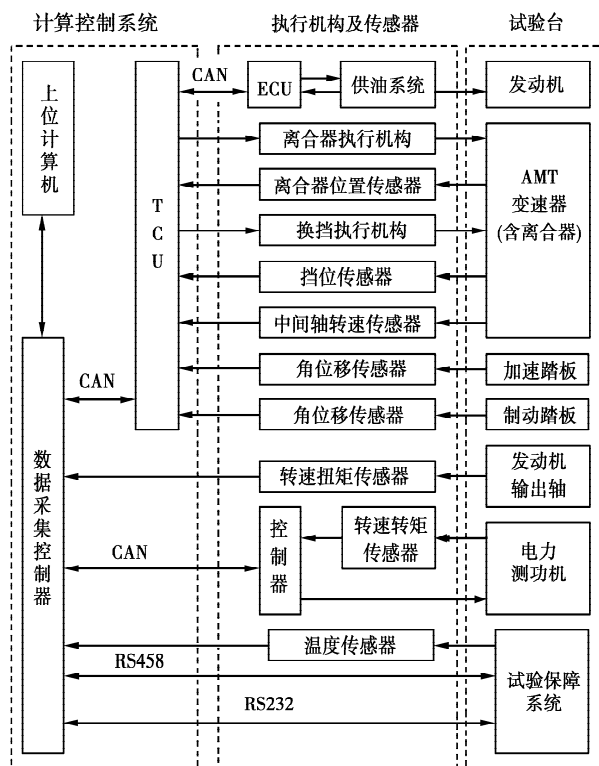


图 1 数据采集及通信系统框图

2 数据采集与通信系统通信网络的设计

2.1 CAN 通信网络的构建

在 AMT 综合性能实验台中,发动机 ECU、测功机控制器以及 AMT 变速器 TCU 等主要控制器通过 CAN 通信进行着大量的实时数据交换,同时还存在试验保障系统以及数据采集控制器与上位机通信的串口通信,所以在系统中设计了以 CAN 通信为基础,串口通信为辅的通信网络。由于本实验台主要是用来开发重型商用车的 AMT 技术,所以建立的 CAN 通信网络是以 SAE J1939 标准下的 CAN 通信作为标准,各个控制器之间按照 SAE J1939 标准组建其 CAN 网络。

SAE J1939 是一种高级的 CAN 协议标准,应用

于客车、货车、农业及建筑车辆,它对汽车内部 ECU 的地址配置、命名、通信方式以及报文发送优先级等都作了明确的规定,并且对汽车内部各个具体的 ECU 通信作了详细的说明^[11]。SAEJ1939 标准设计中使用的是 CAN 扩展帧格式,用 29 位标识符(CAN 扩展帧)提供一种完整的网络定义。J1939 标识符包括:PRIORTY(优先权位);R(保留位);DP(数据页位);PDU FORMAT(协议数据单元);PDU SPECIFIC(扩展单元)和 SOURCE ADDRESS(源地址)。其中 PRIORTY 位为决定报文优先级的前 3 位;R 在传输报文时置为 0;DP 用于选择 2 页参数组中的其中 1 页;PDU 场识别能被传送的 2 个 PDU 格式;SRR 和 IDE 位在 CAN2.0B 中已详细定义;PDU SPECIFIC 场由 PDU FORMAT 值决定;如果 PDU FORMAT 的值在 0 与 239 之间(PDU1),PDU SPECIFIC 场包含一个目的地址(DA),如果 PDU FORMAT 值在 240 与 255 之间(PDU2),PDU SPECIFIC 场包含一个对 PDU FORMAT 的组扩展(GE);对于一个给定的网络,每一个 SOURCE ADDRESS 都是唯一的。报文单元还包括 64 位的数据场^[12]。

根据 SAEJ1939 标准的定义,使数据采集控制器的 CAN 口的 ID 采用 16 进制数表示 29 位 ID,同时考虑了数据采集控制器在 CAN 网络中的作用及优先级,将其 ID 值设为 0x6CF8280。其中数据场 8 个字节,包括变量:测功机扭矩、发动机转速、故障停机、机油温度分别以 16 位数据传送,发送周期为 20 ms。对于发动机 ECU、AMT 的 TCU 以及测功机控制器的 CAN 通信同样按照 SAEJ1939 标准确定唯一的 ID,并定义数据场的变量及变量的转换方法。在数据采集与通信系统中,把接收到的数据场值转换成分析所需的参数值,并以串口的通信标准发送到上位机。上位机对带 CAN 口控制器的控制,首先是把控制参数传送给数据采集控制器,然后数据采集控制器把控制参数转换成符合 SAEJ1939 标准的通信格式发送到 CAN 总线上,对应的控制器接收到控制参数并执行。

2.2 串口通信网络的设计

在 AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统中,试验保障系统以及数据采集控制器与上位机通信均采用串口通信。目前,有多种接口标准可用于串行通信,包括 RS-232-C、RS-422 和 RS485 等。RS-232-C 是最早的串行标准接口,在短距离、较低波特率串行通信中得到了广泛应用,一般 PC 机上的串口是 RS-232-C,因此 AMT 综合性能实验台数

据采集与通信系统与上位机的通信采用 RS-232-C 标准串口。RS-485 是平衡传送的电气标准,比起 RS-232-C 非平衡的传送方式在电气指标上有了大幅度的提高,最大传输距离可达 1 200 m,最大传送速率可达 10 Mb/s,抗干扰性强,同时可以组建基于 RS-485 的串口通信网络。在 AMT 综合性能实验台的试验保障系统中有多数要通过串口通信的连接点,设计中建立了以数据采集控制器为主设备,其它串口节点为从设备的主从 RS-485 串口通信网络。通信网络中所有从设备节点挂接于同一条数据通信总线,总线为各现场单元共享,为避免总线通信的竞争与冲突,系统网络通信采用主从通信控制方法,即系统中每个从设备节点被赋予唯一的本机地址,采用主设备轮询,下位机应答的通信方式。

在串口通信网络的设计中,考虑到实验台信号传输距离、传输速度及抗干扰及组建串口网络等因素,选择使用了 RS-232-C 和 RS-485 共 2 种标准,可以保证在不同距离不同环境下的串口通信。2 种串口之间使用 RS-232C/RS-485 转换器进行接口转换。

3 数据采集器的硬件设计

3.1 数据采集器的微控制器及测量传感器的选择

数据采集控制器的微控制器是数据采集器的核心元件,选择合适的微控制器是 AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统开发的关键^[9]。实验台上复杂的多控制器实时数据通信及处理要求处理器必须有足够的处理速度和内存空间,同时要具有丰富的外设资源和良好的抗干扰性能。经比较本设计选择采用 TI 公司的数字信号处理芯片 TMS320F2812 作为数据采集控制器的微控制器。TMS320F2812 定点 DSP 是 32 位定点 DSP 芯片,这款芯片的主要优势在于具有较强的实时处理能力(150 MHz,32 位中央处理器,可实现 16×16 和 32×32 位乘且累加操作),丰富的外设性能(2 个串行通信接口,改进的局域网络 eCAN,多达 16 通道的 12 位的 ADC 等),同时具有高级的仿真特性,可实现实时的硬件调试^[13]。所选择的 TMS320F2812 芯片能够完全满足数据采集控制器的功能要求,其卓越的性能可提高开发效率,降低开发难度。

在 AMT 综合性能实验台上需要检测转速、压力、温度和位移 4 种物理量。同时实验台上传感器经常工作在温度、振动、灰尘、电磁噪声等苛刻状态中,因此,不仅要求所选用的传感器测量指标良好,而且还要具有良好的适应性水平。根据实验台的使用

要求(量程的大小、体积的要求、测量方式、有线或是非接触测量等)确定测量原理和可用的传感器类型^[14]。对所选择的传感器要评估其对系统造成的误差、延迟以及干扰等方面影响程度,并提出补偿方案以便提高系统的控制精度和可靠度。传感器的测量范围以及误差等因素是进行 AMT 综合性能实验台数据采集控制器硬件设计的重要参考。

3.2 数据采集器主要硬件设计

数据采集控制器的硬件设计主要包括信号输入、处理(ECU)、输出、监控和电源等部分。硬件设计以 TMS320F2812 微控制器为核心,设计了脉冲输入接口电路、模拟量输入接口电路、开关量输入接口电路、电源电路、复位电路、主控电路以及通信电路等电路。数据采集控制器的硬件结构框图如图 2 所示。

机水温、机油压力、离合器位移、扭矩等信号,并且这些信号要在线检测,因此需要对这些量进行 A/D 转换。在设计中采用了 TMS320F2812 的 ADC 模块,其具有 16 通道 12 位采样/保持电路,具有较好的实时性,可很大程度上提高 AMT 综合性能实验的控制效果。输入的四路模拟信号经过处理后分别与 DSP 的 ADCIN00、ADCIN01、ADCIN02、ADCIN03 相连,通道的装换顺序可通过编程来实现,每次转换结果对应存储在 RESULT0、RESULT1、RESULT2、RESULT3 寄存器中,并且其灵活的中断控制允许在每一个或每隔一个序列的结束时产生中断请求。因此采用 TMS320F2812 的 ADC 模块进行 A/D 转换可以减少外围硬件开销,其软件也极易实现。

数据采集控制器的通信硬件电路设计主要包括串口电路设计和 CAN 通信电路设计。数据采集控制器串口通信设计了基于 RS-485 的串口通信,RS-485 通信接口采用 MAX491 收发器芯片,MAX 491 是 MAXIM 公司的全双工 RS-485 收发器,支持 32 路分级连接,最大传输距离达 3 km,满足试验保障系统的串口通信需要。试验保障系统中从设备节点也与 MAX 491 连接构成从设备 RS-485 接口。数据采集控制器 RS-485 串口处于全双工工作状态,试验保障系统中其它串口节点工作在半全双工模式。即一开始所有的从设备都只工作在接收状态,即 TMS320F2812 控制 MAX 491 的 DE 端为低电平,DI 高阻。主设备通过发送呼叫命令(含要呼叫的下位机地址)启动一次通信,从设备收到命令后,判断呼叫地址是否和本机相同;如不同则不予理睬,若相同则根据指令,按要求发送数据采集控制器所要的数据。同时数据采集控制器与 PC 上位机及其他 RS-232-C 接口的控制器之间通信通过 RS-232C/RS-485 转换器进行转换实现。

TMS320F2812 内部集成了支持 CAN2.0B 协议的 CAN 控制器模块,只需要外接 CAN 总线驱动芯片就能与 CAN 总线进行通信。为提高系统的驱动能力,增大通信距离,采用 TI 公司的 SN65HVD230D 作为 CAN 收发器,以增强对总线的差动发送能力和对 CAN 控制器的差动接收能力^[15]。CAN 总线的末端必须并接 1 个 120 Ω 的电阻,它们对总线阻抗匹配有着重要的作用。CAN 总线接口电路设计如图 3 所示。

在完成数据采集控制器各部分硬件电路设计的基础上,所研制开发的数据采集控制器如图 4 所示。

在 AMT 综合性能实验中要检测实验台上发动

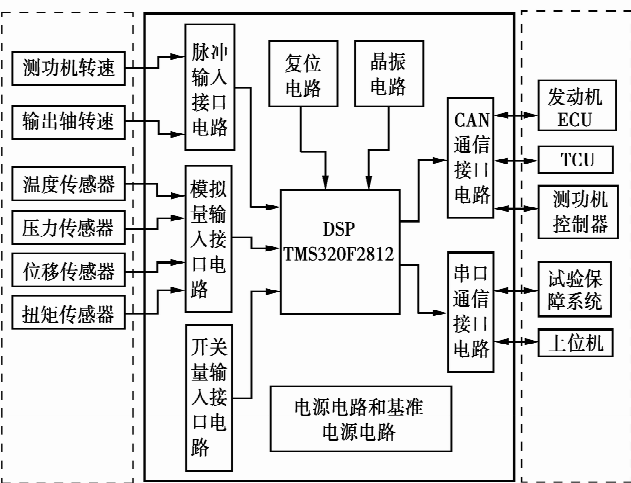


图 2 数据采集控制器硬件结构框图

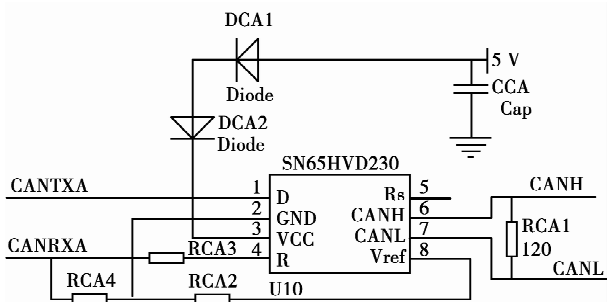


图 3 CAN 总线接口电路图

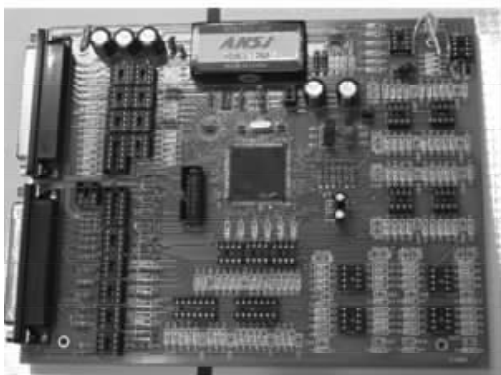


图 4 数据收集器实物图

4 数据采集器嵌入式系统软件设计

数据采集控制器软件设计主要由 DSP 引导程序、初始化程序和主程序 3 部分组成。DSP 引导程序的任务是在系统上电复位后将代码从 DSP 外部转移到其内部或者其外部接口存储器中,以实现外部的慢速非易失性存储器中的代码转移到内部的高速存储器中执行。初始化程序的主要作用是实现目标板上存储器资源的合理分布,寄存器变量的声明与定义以及各外设寄存器的设置。主程序主要完成输入数值的相关变换,得到试验所需参数数值,同时将处理完的数据传递给上位机,等待下一步的处理。所有程序的开发、调试、编译、链接都是在 TI 公司提供的基于 Windows 的 DSP 集成开发环境 CCS (Code Composer Studio) 下进行的,该集成开发环境支持汇编及 C/C++ 进行软件开发,具有强大的调试工具如断点、探针、剖析及图形显示等,并最终可以进行输出目标文件的烧录^[16]。

4.1 DSP 引导和初始化程序

DSP 的引导加载模式有 2 种,一种是微处理器模式(XMPNMC=1),复位的中断向量从外部存储器区域 7 获得。另一种是微计算机模式(XMPNMC=0),此时 CPU 从内部 BOOT ROM 获得复位向

量。在设计中使用微计算机模式,在此模式中,DSP 还根据 4 个通用 IO 口的引脚信号把引导 ROM 软件的引导跳转地址分成 6 种类型,以满足不同的系统要求。在实际的采集器嵌入式软件设计中把器件配置成 28x 操作模式,并让它直接跳转到 Flash 存储器中地址 0x3F7FF6 处。

初始化程序主要包括系统本身的初始化和所使用相关外设以及时钟等部分的寄存器设置。DSP 存储器资源的分布主要是通过一个包括 MEMORY 和 SECTIONS 两部分的 CMD 文件来实现, MEMORY 部分用来管理使用存储区, SECTIONS 部分用来规定目标程序代码、变量将被装载或是定位到存储器的哪个区域。同时初始化时首先必须要对寄存器变量进行声明与定义,在声明寄存器变量结构时,根据功能将各个功能位域描述成整体的结构成员,以便提高代码的可读性、可靠性和可维护性。

DSP 芯片的每个外设功能都有相对应的功能控制寄存器,在使用时,要先把这些寄存器初始化设置。在数据采集与通信系统中使用到的外围设备有模数转换器(ADC)、事件管理器(EV)、串行通信接口(SCI)以及增强型 CAN 控制器等模块。在编写主程序之前,要首先根据使用要求对这些模块进行初始化。一般把初始化编写成初始化函数,以便在主程序中进行调用。

4.2 数据采集器嵌入式系统软件主程序设计

主程序软件系统使用 C 和汇编语言混合编写,采用模块化的方法设计。嵌入式系统软件总体结构如图 5 所示。

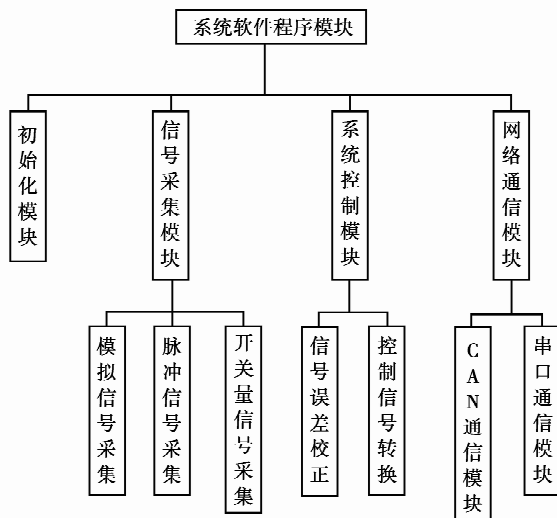


图 5 嵌入式系统软件总体结构图

主程序的设计主要是根据上位机的数据需要,对采集控制器所连接的各个控制器或传感器进行数据获取。在获取相应数据的基础上,把数据按照其不同的通信方式或信号类型进行转换,完成数据采集与通信系统的数据采集与通信功能。在数据采集模块设计中,由于传感器以及其调理电路的误差和干扰的问题,对所采集到的信号要进行信号形式的转换,同时要进行信号的误差校正,以提高信号的精度。

网络通信模块是主程序设计中的关键部分。对 CAN 模块的操作可分为控制、状态寄存器的访问以及对邮箱的读写 3 个部分。CAN 通信的控制程序主要由节点初始化程序、发送信息子程序和中断接收信息子程序组成。串口通信的程序设计主要是对串口接收和发送处理。串口采用查询模式进行发送数据时,是通过不断检查 SCI 控制寄存器 2 (SCICTL2)中的发送就绪 (TXRDY) 标志来实现的。串行通信接收采用中断方式实现,中断使用 CPU 中断 INT5。串行通信接收中断在外设中断向量寄存器 (PIVR) 中的值分别为 0006h,在 INT5 的中断服务程序中可通过检查外设中断向量寄存器 (PIVR) 的值来转入相应的接收中断处理程序,若 PIVR 的值为 0006h,则转入接收中断处理程序。

5 数据采集控制器的功能测试验证

测试验证是为了检验所设计的数据采集控制器软硬件的功能和相应的可靠性。测试验证包括功能性验证和可靠性验证。功能性验证主要是检测数据采集控制器的数据采集与通信的可行性和合理性。可靠性验证主要是检测数据采集控制器在电磁干扰、高温高湿高载条件下的运行可靠性。

5.1 功能性测试验证

数据采集控制器的功能性测试验证由通信测试验证和数据采集测试验证 2 部分组成。通信测试验证试验主要是检测 CAN 通信和串口通信的可行性。试验把数据采集控制器与 dSPACE 组成基于 SAEJ1939 标准的 CAN 网络,实现在 CAN 网络的数据发送与接收。数据采集控制器与上位机之间进行串口通信,并通过数据采集控制器实现上位机与 dSPACE 的数据互通。同时在测试试验中,使用数据采集控制器对转速传感器和温度传感器进行数据采集,并把采集到的参数值发送到上位机。测试验

证试验的方案如图 6 所示。

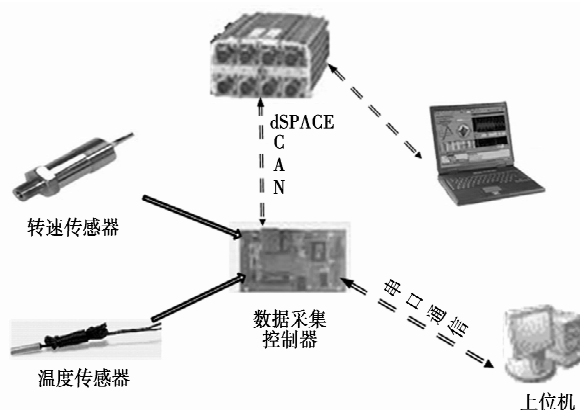


图 6 测试验证试验的方案

经测试验证,所设计的硬件和软件均满足设计功能要求,达到预期的通信和采集目的。

5.2 可靠性测试验证

将数据采集控制器分别在 60 °C 下带载运行 168 h,在 85 °C、湿度为 85% 时存放 168 h, -20 °C 到 80 °C 高低温循环 30 次测试,均可满足试验结果要求。同时通过引脚 500 V 的脉冲试验,以及实验台干扰环境下试验,数据采集控制器的电磁干扰设计均满足要求。通过以上试验和参数测试,数据采集控制器功能正常,可靠性能达到设计要求。

6 结 语

1) 设计了 AMT 综合性能实验台数据采集与通信系统的总体方案,通过通信方式的选择确定以及数据采集系统的数据采集处理,实现了实验台数据采集与通信的功能要求。

2) 构建了以 TMS320F2812 作为数据采集控制器的微控制器为中心的通信网络系统,实现了 AMT 综合性能实验台上各控制器基于 SAE J1939 技术规范的可通信,数据采集器与上位机之间基于 RS-232-C 数据互通。

3) 根据 AMT 综合性能实验台的工作环境,进行了数据采集与通信系统的数据采集器的硬件与软件设计并进行了测试验证。试验表明数据采集控制器满足 AMT 综合性能实验台测控系统的要求,具有较好的可靠性能,为进行 AMT 综合性能研究提供了良好的实验平台。

参考文献:

- [1] 苏玉刚. 汽车 AMT 系统设计和智能控制技术研究[D]. 重庆:重庆大学自动化学院,2004.

- [2] BAHNE M, KRAUSS C. Reliable shift quality optimization as standard for AT, DCT, AMT[J]. VDI Berichte, 2008, 20(9):911-932.
- [3] 叶明, 秦大同, 刘振军. 轻度混合动力 AMT 汽车自动起步控制研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(5):442-445.
YE MING, QIN DA-TONG, LIU ZHEN-JUN. Research on starting up strategies of mild hybrid electric vehicle equipped with automatic manual transmission[J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(5):442-445.
- [4] 龚群英. 重型车 AMT 网络化电控系统的研究与开发[D]. 重庆:重庆大学机械学院, 2007.
- [5] 秦兴顺, 罗斌. 电控发动机故障诊断模拟实验台设计[J]. 西华大学学报:自然科学版, 2008, 27(1):15-18.
QIN XING-SHUN, LUO BIN. Design of simulation experimental bench for trouble diagnosis of electronic-controlled engine [J]. Journal of Xihua University: Natural Science, 2008, 27(1):15-18.
- [6] 陈家斌, 龚进, 谭祖香. SAE J1939 协议在发动机上应用[J]. 现代机械, 2006(2):64-70.
CHEN JIA-BIN, GONG JIN, TAN ZU-XIANG. The application in engine of SAE J1939 protocol [J]. Modern Machinery, 2006(2):64-70.
- [7] YANG SHI-WEI, ZHU KE-QIN, XU QUAN-KUI, et al. Multiple electronic control units calibration system based on explicit calibration protocol and J1939 protocol [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 20(1):42-46.
- [8] KARATZAS T. Automatic switch handles RS-232 or RS-485 serial data [J]. Electronic Design, 2004, 52(21):66-73.
- [9] 王会咪, 刘志峰, 赵铁男, 等. 基于 CAN 总线的数据采集系统通信接口的实现[J]. 计算机工程, 2006, 32(9):283-285.
WANG HUI-MI, LIU ZHI-FENG, ZHAO TIE-NAN, et al. Communication interface implementation of data acquisition system in CAN-bus network[J]. Computer Engineering, 2006, 32(9):283-285.
- [10] 张洪坤, 陈涛, 陈伟. 车辆自动变速器控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(5):246-247.
ZHANG HONG-KUN, CHEN TAO, CHEN WEI. Design of control system for automated mechanical transmission [J]. Control and Automation, 2007, 23(5):246-247.
- [11] ORON-GILAD T, RONEN A, SHINAR D. Alertness maintaining tasks (AMTs) while driving[J]. Accident Analysis and Prevention, 2008, 40(3):851-860.
- [12] PATEL R C, SHAH V K. Experience of using DSP controller in power converter board design[J]. IETE Technical Review, 2005, 22(6):413-423.
- [13] ZHANG YAN-JUN, HE HU, SHEN ZHENG, et al. ASIP approach for multimedia applications based on a scalable VLIW DSP architecture[J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 14(1):126-132.
- [14] DAVIS R I, BURNS A, BRIL R J, et al. Controller area network (CAN) schedulability analysis: refuted, revisited and revised[J]. Real-Time Systems, 2007, 35(3):239-272.
- [15] 付伟, 秦树人, 邱建伟. 基于 CAN 总线的车载数据采集器的设计[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2006, 29(3):19-22.
FU WEI, QIU SHU-REN, QIU JIAN-WEI. Design of data acquisition system for vehicle based on CAN bus[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2006, 29(3):19-22.
- [16] 窦鹏. 基于 TMS320F2812 汽车动力控制系统的实现[J]. 机械设计及制造, 2008(6):93-95.
DOU PENG. The realization of the automobile power control system based on TMS320F2812[J]. Machinery Design & Manufacture, 2008(6):93-95.

(编辑 张 革)