

# 基于NI产品的高压共轨柴油机电控单元测试系统的开发

作者：杭勇 杨明 陆娟  
职务：高级工程师  
公司：一汽无锡油泵油嘴研究所

**应用领域：**汽车工业

**挑战：**发动机电控单元的开发面临着开发效率和开发质量的双重压力，如何在产品开发过程中快速地测试控制系统的功能性、可靠性，在保证开发质量的前提下，提高系统开发效率，是所有开发人员面前的难题。而在实际的发动机台架试验中，人为地产生故障是非常危险的，可能会对控制器、发动机、台架设备或试验人员造成伤害。因此，用测试设备模拟发生各种故障信号组合，可以快速地ECU进行该项功能的全面测试，节约台架时间，降低测试风险。

**应用方案：**利用NI公司的软硬件产品，开发人员可以快速高效地搭建出电子控制系统（ECU）测试平台，其灵活的硬件配置、图形化的编程方法，使用户可以方便地开发出从简单的子系统测试到复杂的全系统测试方案。在此基础上应用TestStand建立了一套ECU功能检测设备，从而在整个开发流程中提供了一个从灵活的软件调试工具、软件功能测试到硬件电路检测的完整解决方案。

## 使用的产品：

LabVIEW 7.1

LabVIEW FPGA

TestStand 3.5

PXI-6229 M系列数据采集卡

PXI-7831R 可重新配置的多功能I/O卡

PXI-6512 低价位工业数字输出卡

PXI-8464/2 单口软件可选PXI-CAN接口

PXI-6723 静态和波形模拟输出板卡

## 介绍：

高压共轨控制系统的软件开发要求建立起一套硬件在回路仿真测试平台，要求该平台能提供高速的相位准确的发动机曲轴和凸轮轴信号，以及其他传感

器输入信号，如共轨油压、踏板开度、冷却水温度、机油压力、燃油温度、增压压力等，对输出到执行器，诸如各缸的预喷、主喷以及泵油信号的宽度和相位也要求能准确捕捉，以反映出控制系统真实的控制功能。同时，要求测试系统具有故障发生模块，方便调试电控单元的诊断功能。这样在控制软件的设计过程中，通过硬件在环的仿真调试，可以快速地确认算法的功能，尽早地发现和纠正软件功能错误，降低开发成本，提高开发效率和开发质量。NI公司的虚拟仪器理念克服传统仪器功能单一，扩展开发困难的缺点，为电控高压共轨系统控制单元的开发提供灵活、完整的硬件在环（Hardware-in-the-Loop）仿真调试平台，并建立产品ECU功能检测设备。本文介绍了该套系统的设计方案及其特点。

## 正文：

### 软件调试平台建立：

根据高压共轨控制器的输入信号相位要求、输出信号高速采样要求和故障发生原理，基于NI公司软硬件产品，利用

PXI-7831R FPGA板卡高速发生和采集关键信号，利用PXI-6512和继电器组合实现了各种故障的发生。搭建出的测试系统在实际ECU功能测试中的应用表明，该系统能够高速模拟发生发动机在不同工况下不同相位关系的曲轴和凸轮信号，结合其他如共轨压力、油门踏板和温度信号的发生，通过对喷油脉宽和相位、泵油脉宽和相位的捕捉，实现了对控制器在不同工况下硬件电路、软件功能的测试，进而为控制器的研发和调试提供了很好的手段。

利用两块NI的现场可编程门阵列（FPGA）板卡PXI-7831R，一块用来发生转速和捕捉同步信号，实现了高速、相位准确的发动机曲轴和凸轮轴信号的发生，一块用来捕捉喷油和泵油信号。转速信号采用While循环和平铺式顺序（flat sequence）结构，第一个序列中为一可调试计时器，用来控制第二个序列信号点输出的速度，进而改变转速信号的频率，该板卡上的另外5路AO用于发生轨压信号、油门开度及其它温度信号，如图1所示。

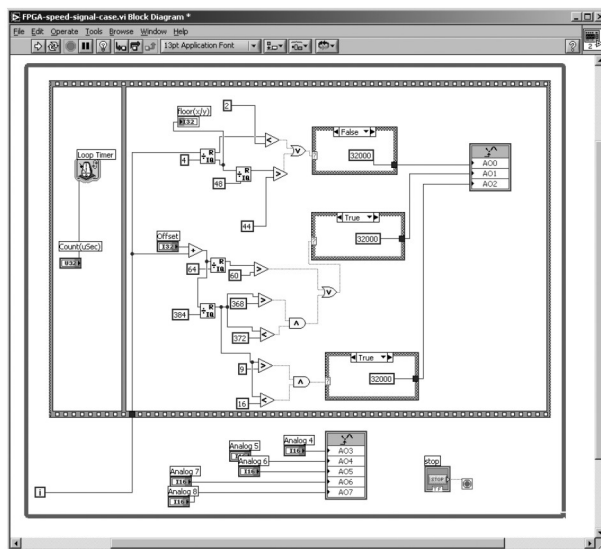


图1 LabVIEW FPGA中转速信号发生程序

程序中While循环中的循环计数用来控制当前循环各模拟输出口电平的高低,其逻辑根据所需信号的种类而定,本文中的曲轴信号为每转48齿缺3齿,凸轮轴信号为每两转6齿加1齿。另外,为了实现喷油和泵油信号捕捉处理时与转速信号相位的同步,在每两圈曲轴信号第一齿上升沿位置产生一捕捉同步信号,实际发生的发动机1500转信号如图2。

喷油信号和泵油信号的捕捉是测试中的关键,直接反映软件的控制输出,设计中是通过测量驱动电路中电流波形来获得,选用Honeywell的电流传感器。对喷油信号需精确获取喷油脉宽和喷油相位,对泵油信号主要是获取精确的相位,对脉宽宽度测量精度要求不高。

图3为LabVIEW FPGA中的程序,显示了一路喷油器控制信号和一路泵油信号的测量流程。在测试程序中,首先利用速度信号发生模块中的捕捉同步信号来触发测试开始,确保测试开始点与发动机工作相位的严格同步,进而保证结果中喷油和泵油信号相位的准确性。

图4所示为电流信号测量的原理图,以喷油器电流信号为例。首先针对信号幅值确定两个阈值,分别为电流上升阈值up和下降阈值down。在测试中,测试程序一经触发,以恒定的采样时间间隔对电流波形进行采样,首先寻找上升沿,当在第n1个循环找到后,把n1值写入预设数组第一行,程序转入寻找下降沿n2,写入数组第二行,接着是后一个脉冲的n3、n4,  $(n2-n1)*\Delta t$ 和  $(n4-n3)*\Delta t$ 则为主预喷射的喷油脉宽。

找到每一缸喷油信号的上述时间,再考虑各缸相位和当前转速,则可以最终计算出喷油信号相对于该缸上止点的提前角。实际测量中,FPGA板卡对各通道能实现的最小采样时间间隔 $\Delta t$ 为0.006ms,相当于发动机转速3000转时的0.108°CA。

在ECU控制功能中,对故障的识别和处理非常重要,必须给予详细的功能测试。但在实际的发动机台架试验中,人为地产生故障是非常危险的,可能会对控制器、发动机、台架设备或试验人员造成伤害。因此,用测试设备模拟发生各种故障信号组合,可以快速地对

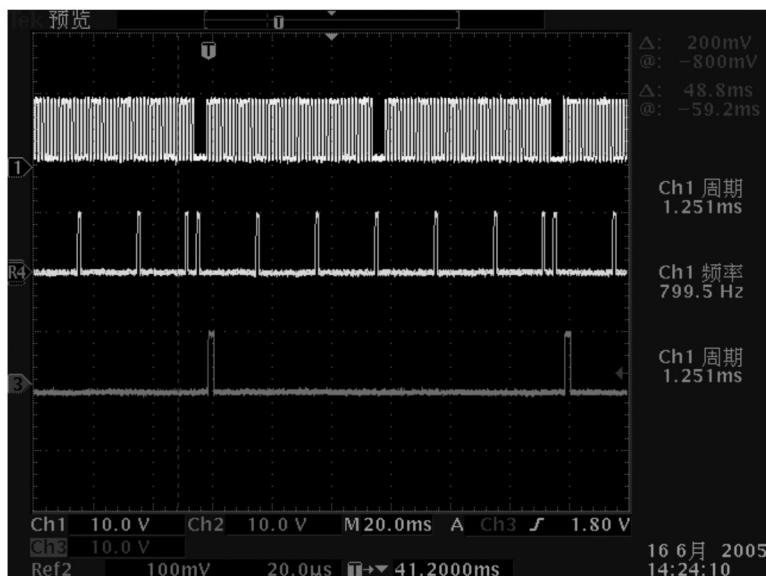


图2 实际发生的转速与捕捉同步信号

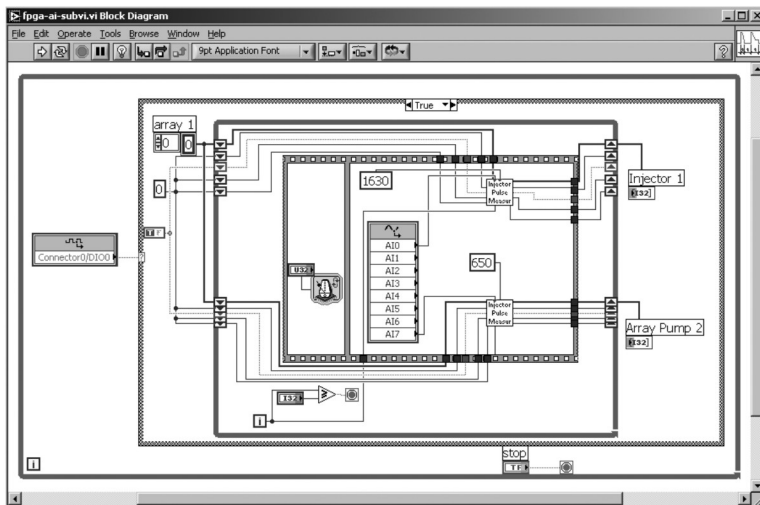


图3 LabVIEW FPGA中信号测量程序

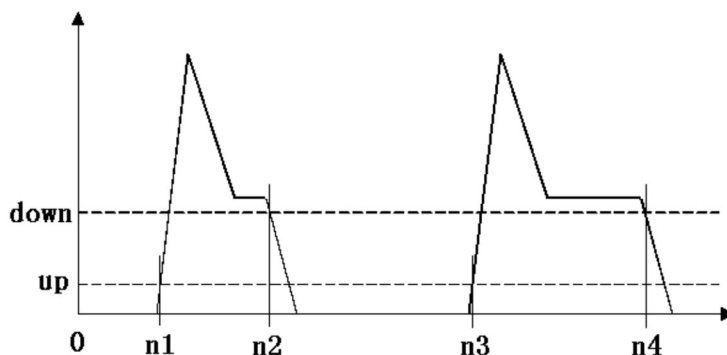


图4 电流信号测量原理图

ECU进行该项功能的全面测试，节约台架时间，降低测试风险。方案中采用NI PXI-6512数字量输出板卡和继电器组合，在图5的故障发生控制面板通过对下拉式菜单的选择，实现了各种输入输出

信号断路、短路、对地短路或对电源短路等故障模拟。

另外，结合软件中CAN J1939协议开发的需要，我们利用PXI-8464 CAN卡在LabVIEW中方便地开发出灵活的、满足

J1939协议的收发单元，与ECU节点进行联调，测试和监控ECU节点单元对协议的满足情况。

图6所示为我们在标准的19寸控制柜中安装的PXI控制器，控制器上部安装有监视

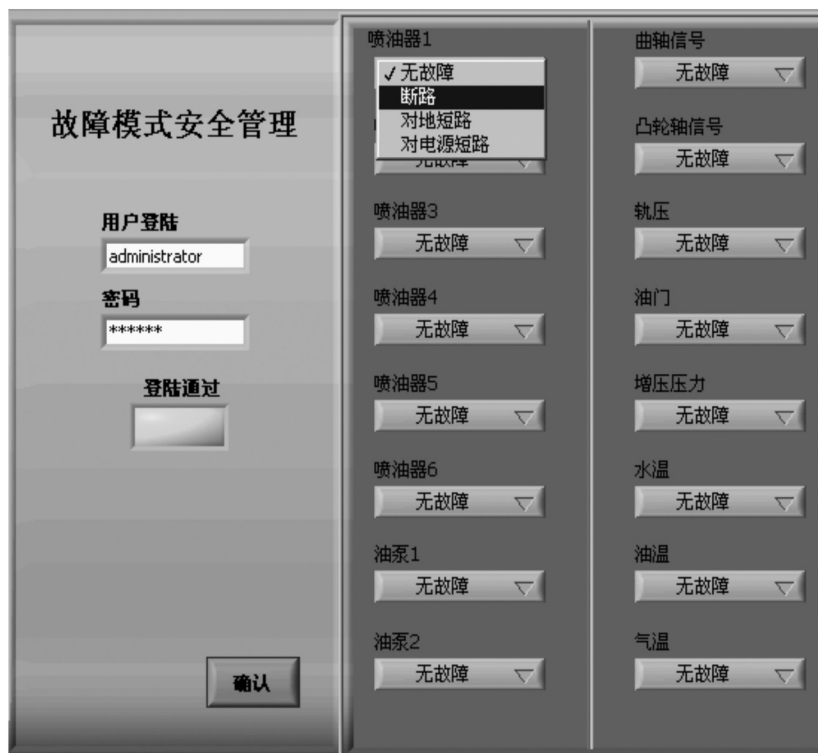


图5 LabVIEW中故障发生控制面板



图6 19寸控制柜中的PXI控制器及NI板卡

器，下部则安装有键盘鼠标、接口电路板卡及负载，图7为在LabVIEW中编制的主控制界面。

#### ECU功能检测设备开发

在ECU软件调试设备开发成功后，公司提出了开发一套产品ECU功能检测仪的需求，用于出厂前ECU质量控制。我们在软件调试设备开发的原理基础

上，考虑到成本，选用MXI-4接口的PXI-PCI-8331板卡，直接用PC机控制NI硬件。硬件板卡中选用PXI-6229输出转速信号，PXI-6723输出模拟量信号，PXI-6512输出数字量信号，其余DO结合继电器产生故障，PXI-8464实现CAN通讯，并利用TestStand软件进行测试项目管理和报告生成，根据需要增加了相关的产

品功能测试项，如ECU上电检测、内存检测、输入输出端口功能检测、驱动电路功能检测等。测试数据主要通过电流传感器和CAN通讯数据获得，为此定义了简单的CAN通讯协议，通过测试设备的请求，ECU回复相应的数据。图8所示为开发完成的检测设备图，图9为TestStand中调用的主要测试步骤。

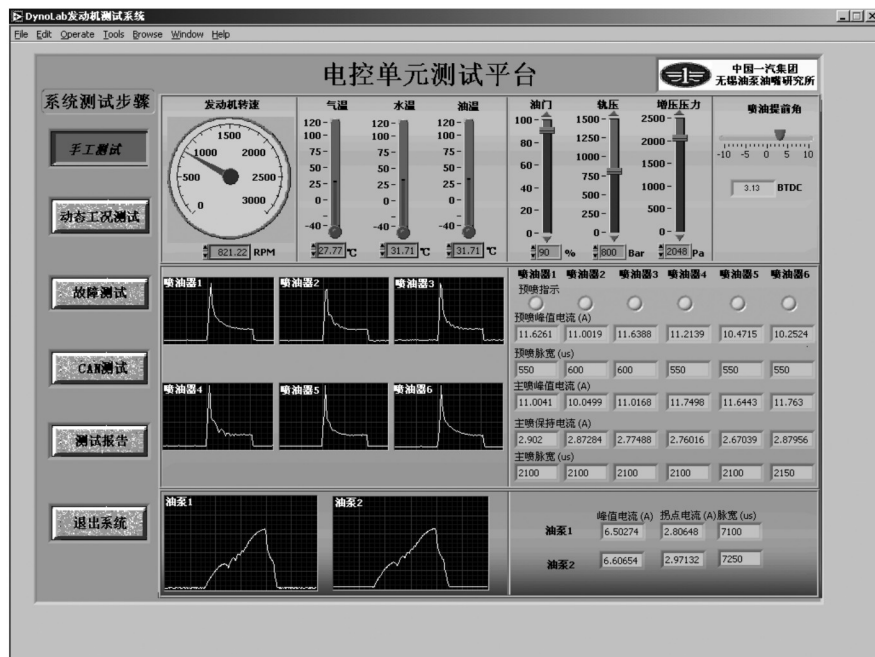


图7 LabVIEW中的主控制界面

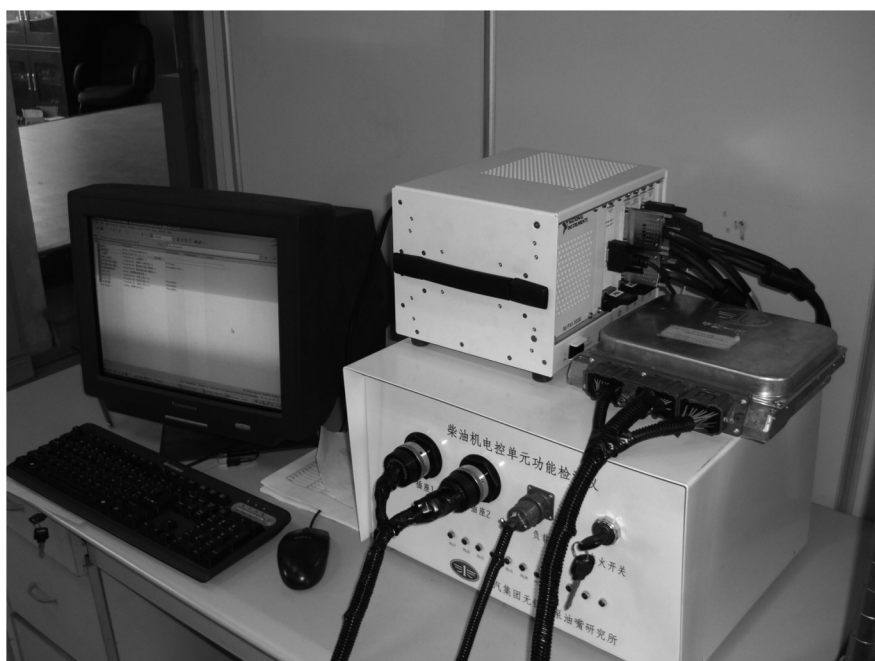


图8 电控单元功能检测仪

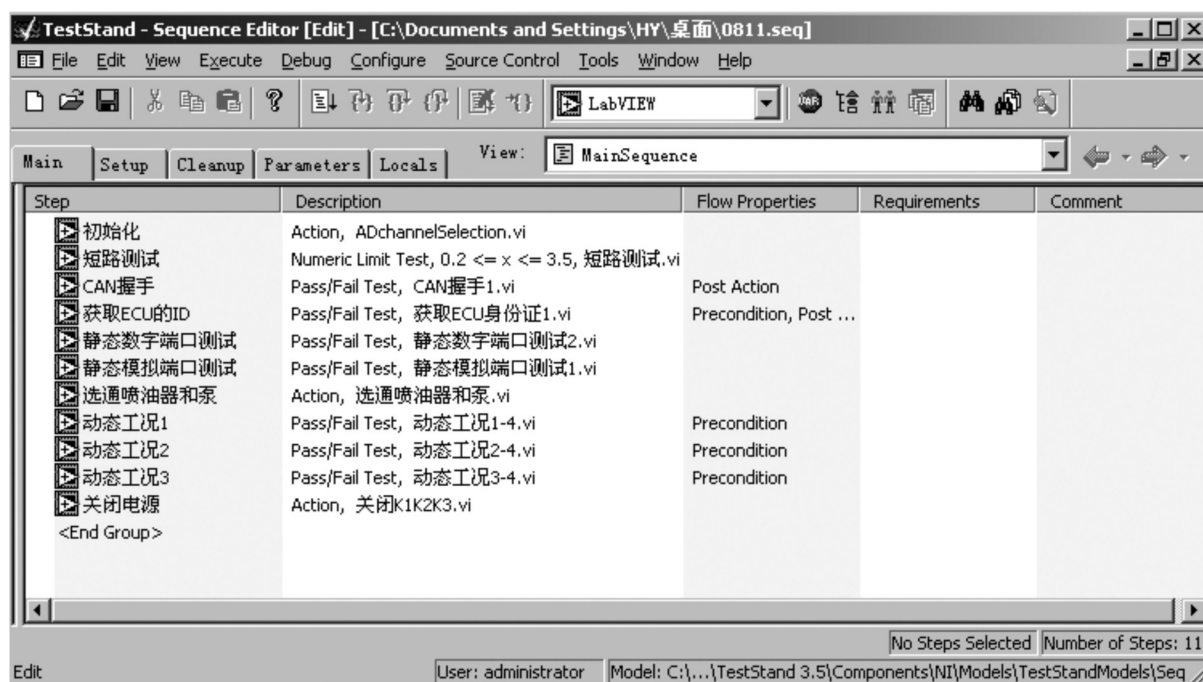


图9 TestStand中ECU测试步骤

主要测试步骤的测试内容如下：  
初始化：

该步骤主要完成测试流程的配置，包括哪些测试步骤需要进行，各步骤中的具体测试参数的设置等。

短路测试：

该步骤完成ECU上电时电源模块测试，通过对上电过程中供电电流的监测，确定供电电路中是否有短路、断路故障，确保ECU测试的安全。

CAN握手：

完成测试设备与ECU之间的CAN通讯测试，并建立连接，为后续测试的数据获取做准备。

获取ECU ID：

测试设备按照协议发出CAN请求，ECU回复软件中的ECU编号。该编号将作为测试报告的文件名，方便报告管理。

静态数字端口、模拟端口测试：

测试设备不发生转速信号，只按照

设计的时序依次改变数字端口、模拟端口的电平。在测试设备发出CAN请求帧后，ECU采集信号，并将测试结果打包通过CAN发送给测试设备，测试设备通过比较发出与收到的数据，进行判别。该测试步骤覆盖了ECU所有数字、模拟端口通道的功能测试。

动态工况测试1、2、3：

在该步骤中，测试设备发生曲轴和凸轮信号，ECU驱动执行器动作。通过预设的3个特定工况的运行，对驱动电流的峰值大小、脉宽宽度、信号相位进行监测，检测ECU功率驱动电路的功能和软件算法的正确性。同时，对ECU发出的基于J1939协议的CAN报文进行监测。

测试完成后，生成报告，显示测试通过与否，不通过项在报告中高亮显示，方便检修人员定位。测试报告自动以ECU编号存盘，为后续的质量跟踪服务。

上述流程已经在实际ECU检测中得

到了应用，能够准确有效地发现新制ECU存在的软硬件问题，为生产线上产品ECU的质量控制提供了有效的工具。

## 结论

美国国家仪器公司拥有丰富的软件、硬件系列产品，其强大的软硬件功能，灵活方便的LabVIEW编程工具，帮助我们在很短的时间内，快速方便地建立起满足高标准、高灵活性的一套电控高压共轨控制单元开发平台和一套产品功能测试平台。

基于开放工业标准的计算机技术为基础的虚拟仪器技术，其灵活性和可扩展性是传统仪器所无法比拟的，相比国际上专用的汽车电子测试设备，NI方案具有很好的价格优势和极大的灵活性，相信在我们后续的汽车电控产品开发和生产过程中，NI公司的软硬件产品将会得到更大的应用。