

# 高速动车组牵引变流器关键数据记录及解析

殷振环, 董侃, 高吉磊

(中国铁道科学研究院 机车车辆研究所, 北京 100081)

**摘要:** 为保障高速动车组安全运行和满足牵引变流器研发及维护的需要, 设计开发了高速动车组牵引变流器关键数据记录及解析系统。本系统以标准 CPCI-6U 结构数据采集板卡为基础, 实现了对模拟信号、高低速数字信号的采集、记录工作, 并能通过以太网接口与上位机进行数据传输, 完成数据解析。该系统已在多款动车组牵引变流器中得到应用, 在实际故障分析中提供了准确的现场数据, 为牵引变流器的研发、调试及维护提供了依据。

**关键词:** 高速动车组; 牵引变流器; 数据记录; 数据解析; CPCI-6U 结构数据

**中图分类号:** U292.91<sup>+</sup>4; U264.3<sup>+</sup>7

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.04.102

## Key Data Record and Analysis for Traction Converter of High-speed Trains

YIN Zhenhuan, DONG Kan, GAO Jilei

(Locomotive & Car Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In order to ensure the safety of high-speed trains and satisfy the demand of development and maintenance of traction converters, a key data record and analysis system was developed. Based on a standard CPCI-6U board, analog and digital parameters could be collected, recorded and downloaded through Ethernet, and analyzed on PC. The proposed system had been applied in several EMU traction converters, and provided precise field data for actual fault analysis, which was an important base for development and maintenance of the traction converter.

**Keywords:** high-speed trains; traction converter; data record; data analysis; CPCI-6U structure data

## 0 引言

故障模式及影响分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) 技术起源于上世纪 50 年代美国的航空工业, 至今已发展成为一种基础的 RAMS 和质量工具而被广泛应用于各个行业。对于高速动车组这样复杂的系统或对高速动车组运行和运营至关重要的子系统进行 FMEA 分析和试验, 可确保系统在出现故障情况下, 动车组能满足相关规则和规范要求, 避免在出现故障时导致系统或动车组中断运营和服务, 保证动车组运行安全。

自 2004 年以来, 大量高速动车组已在中国投入运用。随着牵引变流器大批量装车应用, 产品故障维护及技术升级对现场数据的需求越来越大<sup>[1]</sup>。

故障数据采集与处理是故障诊断的重要环节。本文从数据采集板卡的系统功能、硬件结构方面阐述了系统采集的工作原理, 在此基础上对系统工作流程、数据格式以及网络授时协议进行了分析, 并基于 Labview 和 Famos 平台设计了 2 套数据解析系统, 实现了现场关键数据的记录及解析。

## 1 系统功能及硬件描述

### 1.1 功能描述

本文设计的数据记录及解析系统硬件基础为标准 CPCI-6U 高速数据采集板。高速数据采集板工作时, 监控一路故障脉冲信号, 当有故障脉冲产生时, 高速数据采集板打包故障脉冲前后 0.5 s 所记录的模拟信号、高低速数字信号, 并且将打包后的数据存储到 NANDFLASH 中作为一个数据文件。用户可通过以太

网口将 NANDFLASH 中保存的数据文件下载到上位机进行分析。该系统具体采集数据如下:

- ① 16 路模拟量信号采集。
- ② 单通道 AD 采集频率 25 kHz, 采集精度 16 Bit, 输入信号范围  $\pm 10$  V。
- ③ 30 路高速 TTL 数字量采集, 采集频率 400 kHz。
- ④ 10 路低速 TTL 数字量采集, 采集频率 10 kHz。
- ⑤ 1 路 10 M/100 M 以太网接口, 1 路 RS232 串口。
- ⑥ 1 GB NANDFLASH, 用于数据记录存储。
- ⑦ 工作电源 5 V, 工作温度  $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。

## 1.2 硬件结构

图 1 所示为系统硬件结构框图, 主要包括中央处理模块<sup>[2]</sup>、数据采集模块、数据存储模块<sup>[3]</sup>以及对外接口等:

① 高速数据采集板扩展一片 TI 公司 ARMa8 处理器, 完成采集数据的存储、网络接口协议、数据下载工作。

② 高速数据采集板扩展一片 ALTERA 公司 FPGA 芯片, 实现模拟量信号、数字量信号的采样逻辑, 完成数据采集工作。

③ AD 转换采用专用 AD 转换芯片, 16 位分辨率, 1 MSPS 采样率, 输入电压达到  $\pm 10$  V。

④ 信号调理模块对输入模拟量信号进行信号调理、信号滤波, 使 AD 采集模块能够对 16 路模拟信号进行高精度采集。

⑤ 网络接口和串行调试接口用于系统调试、上位机通信及数据传输。

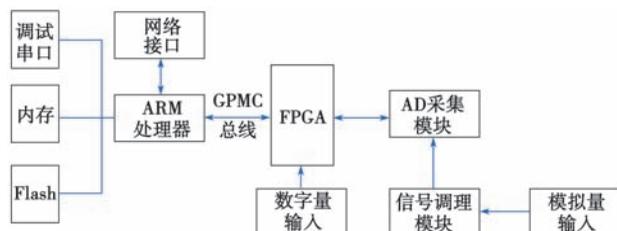


图 1 系统硬件结构框图

## 2 系统工作流程

数据记录解析系统主要实现外部模拟信号、数字信号的高速采集、触发记录工作, 同时具备上位机网络授时、网路数据下载等功能。系统工作流程如图 2 所示。

① 系统上电后, 主控芯片初始化并启动, 完成工作参数的初始化工作, 以及完成 GPMC 接口 (FPGA 和 ARM 的数据交互接口) 的配置工作。

② 系统初始化完成后, 启动 1 个 1 min 定时器, 如果在 1 min 内高速数据采集板收到外部网络的授时指令, 则配置本地时间, 结束 1 min 定时, 如果没有收到授时指令, 则等待定时器结束。

③ 定时结束后, 高速数据采集板启动数据采集工

作。

④ 在采集过程中, FPGA 循环采样外部 IO 信号以及模拟量输入信号, 并将采集到的数据通过 GPMC 总线传输给 ARM 处理器。

⑤ ARM 处理器内建 2 个大容量的数据缓冲区, 一个采用 FIFO 原理, 实时刷新保存 0.5 s 的采样数据, 作为数据记录信号到来前 0.5 s 的数据; 另一个用来保存数据记录信号到来后 0.5 s 的数据。

⑥ 在采集过程中, FPGA 不断检测外部数据记录信号, 当监测到数据记录信号后, FPGA 通过 ARM 中断通知 ARM 处理器数据记录信号到来。

⑦ ARM 处理器响应数据记录信号, 停止对前 0.5 s 数据缓冲区的实时刷新, 将数据存储位置换为第 2 个数据缓冲区, 并且持续采样工作 0.5 s。

⑧ 0.5 s 后 ARM 处理器将整个 1 s 的采集数据作为 1 个数据记录存储到 NANDFLASH 中。

⑨ 高速数据采集板内部建立防误触发机制, 如果 2 次数据记录信号间隔小于 0.5 s, 高速数据采集板将以最后一次的数据记录信号作为数据记录点。

另外, 在采集过程中, 外部计算机可以通过 ftp 登陆到高速数据采集板并下载高速数据采集板中记录的数据文件。

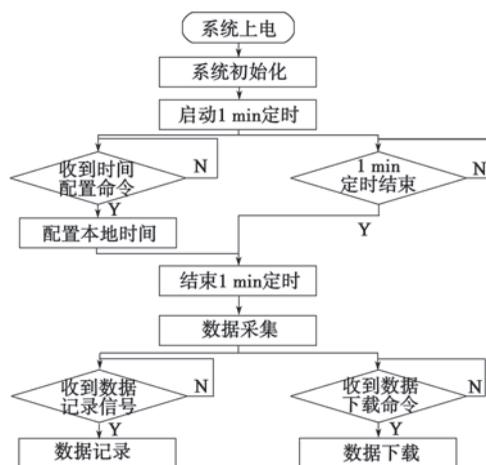


图 2 系统工作流程

## 3 网络授时协议

高速数据采集设备上电后, 60 s 之内等待接收上位机发送的授时数据。

若授时数据接收正确, 则按授时时间进行授时, 同时将授时数据加 1 返回给上位机, 作为应答。授时完成后, 软件开始进行数据采集操作。

若授时数据接收错误, 则继续等待授时数据, 同时将授时数据位全部置 1 返回给上位机, 作为应答。若 60 s 内始终未接收到正确的授时数据, 则不再进行授时数据的接收, 授时基准时刻按 0 s 开始, 进行本地授时, 软件开始进行数据采集操作。

### 4 数据下载及解析

#### 4.1 数据下载

高速数据采集板所记录的关键数据可通过 FTP 软件进行下载。图 3 所示为利用 WinSCPPortable 登陆后的下载界面。



图 3 数据下载界面

#### 4.2 数据解析

上述系统所下载的数据文件格式为二进制数据, 不便于数据解析。为此, 本文分别基于 Labview<sup>[4]</sup> 和 Famos<sup>[5]</sup> 软件设计了数据解析工具, 可方便用户直观、清晰地查看数据文件。

##### 4.2.1 基于 Labview 的数据解析软件

基于 Labview 的数据解析工具包含 4 个模块。

###### 1) 本地数据提取模块

从本地存储器中获得采集板记录的数据文件, 打开文件, 读入文件结构, 获得原始数据。

###### 2) 数据解析模块

将原始数据根据不同通道的比例关系及软件数据协议, 解析数据结构体。

###### 3) 数据转换模块

将解析后的数据, 根据模拟量换算关系, 进行数据转换, 转换成能符合波形输出关系的模拟量波形画点结构体。

###### 4) 波形绘制模块

读取模拟量波形画点结构体数据, 将相关波形显示输出到图形窗口。

图 4 所示为基于 Labview 设计的数据解析工具, 通过该界面可以清晰、直观地对数据进行分析。

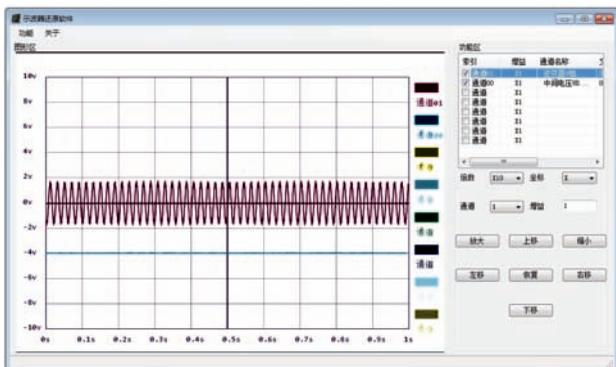


图 4 Labview 波形显示界面

##### 4.2.2 基于 Famos 的数据解析软件

Famos 能根据需要对数据进行灵活拆分重组运算, 并且具有友好的人机交互界面。基于 Famos 的数据解析工具包含 2 个模块。

###### 1) FAS 文件过滤器

定义 Famos 以何种方式读取数据文件, 如数据格式、有效数据位数及有无符号等, 并将读取的数据文件转换成 Famos 数据格式。

###### 2) SEQ 数据处理脚本

对过滤器读取的数据进行拆分、重组, 并按照转换关系还原真实数据。

Famos 自带波形绘制、显示工具, 并支持与 excel、Matlab 等工具的转换, 无需另外编写波形显示界面。基于 Famos 的数据处理工具如图 5 所示。

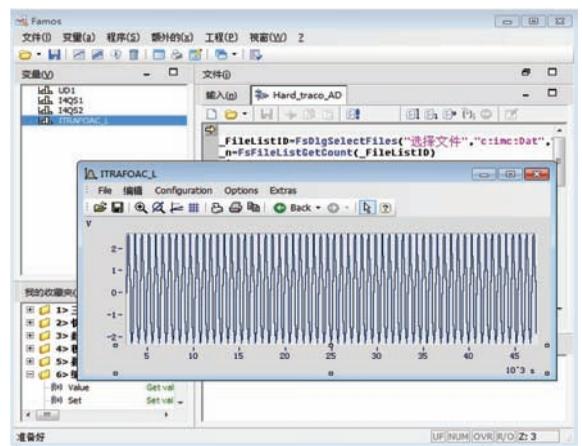


图 5 基于 Famos 的数据处理工具

### 5 应用案例

将上文所述系统应用到某车型动车组牵引系统, 图 6 所示为单台变流器测点示意图。

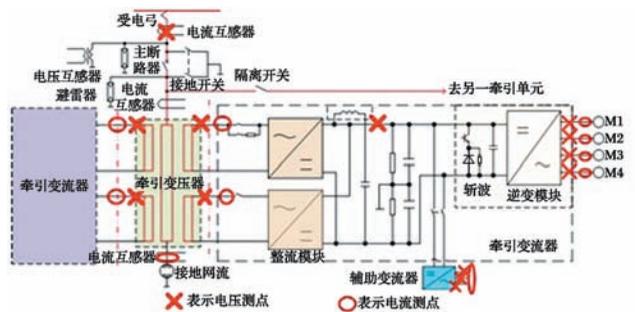


图 6 单台变流器测点示意图

图 7 所示为对某型动车组现场试验过程中发生的辅助过流故障数据的解析。

从故障解析数据看, 故障发生在软启动过程中, 软启动电压约 330 V 时, 整列投入较大负载, 由于此时整列辅助变流器启机尚未完成, 且软启动电压未完全建立而引起过流故障。对故障数据进行分析后, 对整列负载管理进行了完善, 避免了此类问题的再次发生。

(下转第 47 页)