

GT-SUITE-RT 在电动车控制器开发验证方面的应用

EV control unit development with GT-SUITE-RT

南涛, 陶伟庆, 侯广永, 孟庆楠, 王硕, 郝春成

(长城汽车股份有限公司技术中心, 河北省汽车工程技术研究中心, 保定 071000)

摘要: 在电动汽车控制器开发中, 采用硬件在环仿真技术可以对控制系统软硬件进行测试, 缩短开发周期, 降低开发费用。该文研究开发了基于GT-SUITE-RT整车仿真环境的电动汽车 (Electric Vehicle, 简称EV) 控制器硬件在环仿真系统, 按模型搭建、台架配置和模型测试三个步骤, 介绍了各个步骤的实现方法。通过对某款电动车型控制器各项功能的测试, 结合ET样车的实验测试数据对比分析, 验证了GT-SUITE-RT整车仿真环境的正确性及便捷性。建立了一种基于GT-SUITE-RT与HILS台架联合应用的开发验证测试方法。

关键词: 硬件在环仿真、GT-SUITE-RT、电动汽车、开发验证

Abstract: During the Electric Vehicle controller development process, we use the Hardware-in-the-Loop testing technology for the integration test of controller's software and hardware, which helps us to shorten the development cycle and also reduce the cost. In the HIL testing system, we developed the virtual electric vehicle simulation environment based on GT-SUITE-RT, and the whole process is divided into three phases: Model developing, HIL configuration, and test cases implementation. The detailed work of these phases will be described below. we have verified the correctness and convinence of the GT-SUITE-RT simulation environment through executing the test cases on one EV controller, and comparing with the experiment data from the ET demo car. The HIL testing technoly combined with the GT-SUITE-RT simulation environment is confirmed a valid method for the purpose of EV controller verification and validation.

Key words: HILS (Hardware in the Loop Simulation)、GT-SUITE-RT、Electric vehicle、simulation

1 前言

近年来, 系统的集成仿真应用技术在国内外电动汽车开发过程中广泛应用。其中硬件在环仿真技术的应用已经成为电动汽车控制系统软硬件开发过程中的必备环节。在电动汽车控制器开发中, 通过采用硬件在环仿真技术可以模拟各种极端环境下对控制系统软硬件进行极限测试、失效测试, 亦可再现各种故障现象对控制系统软硬件的安全性和可靠性进行反复对比测试, 从而可以缩短开发周期, 降低开发费用。

GT-SUITE是基于多物理场的综合仿真平台, 提供了高水平的建模辅助工具, 可用于车辆的多系统集成仿真, 可以考虑各个系统间的相互影响。GT-SUITE模板库涵盖了流体、机械、热、电、磁, 化学和控制, 其应用包括了发动机, 后处理装置, 声学, 冷却和热管理, 传统车辆, 纯电动及混合动力, 曲轴和配气机构, 正时系统等车辆全方位仿真和预测分析。GT-SUITE-RT是实现GT-SUITE与HILS

台架联合应用的桥梁，可以方便地建立快速运行模型，解决简单map的不准确性和传统模型仿真的不实时之间的矛盾。

2 集成仿真应用

集成仿真应用是利用 GT-SUITE-RT 软件建立整车环境模型，再结合硬件在环系统，对整车控制系统的软硬件进行相关测试的过程。主要步骤有：前期准备工作，包括硬件配置工作、软件配置工作和系统配置工作；准备工作完成之后，进行模型搭建，通过在 GT-SUITE-RT 软件中搭建实时仿真 EV 模型，模型编译之后，在 Matlab 环境中增加 dSPACE 公司提供的“Advanced Support Package”中的中断等模块，与之组合之后下载到 DS1006 的 flash card 中；然后是硬件在环设备实物配置，连接好各控制系统实物，启动硬件在环设备，交互上位机与 HIL 机柜通讯实现后；最后按测试用例计划进行各项功能测试。

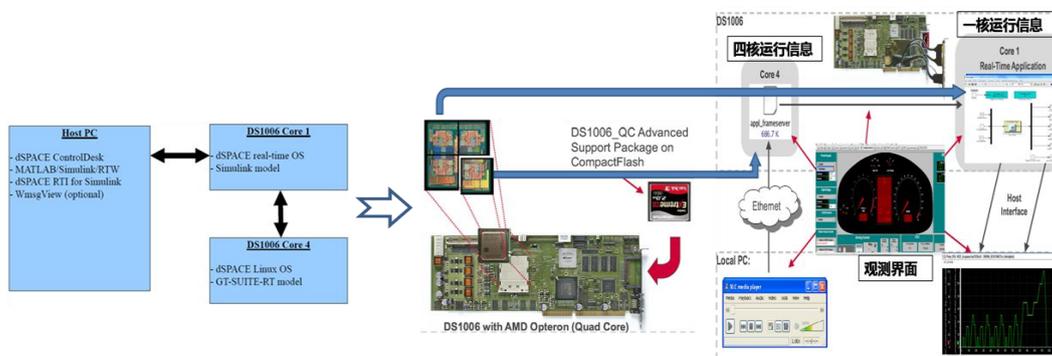


图 1 联合工作流程图

数据流关系图

2.1 硬件配置工作

对硬件在环设备 DS1006 板卡进行升级改造，硬件将 DS911 升级为 DS921（见图 2，可提供 USB 接口及网络接口）。

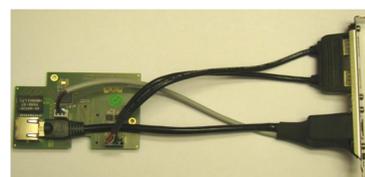


图2 硬件DS921

2.2 软件配置工作

软件配置部分需要 dSPACE 公司增加软件 DS1006_QC Advanced Support Package 数据包，需要 GT 公司 RT 相关 library 库文件。从 GT 的网站上下下载相关 RT 的 library，下载网址：

<http://www.gtisoft.com/realtimes> 可下载的文件包括下图所示的文件，根据需求下载。其中：RT73_DS1006QC70_dp.zip 是专门针对 dSPACE 的操作文件，它解压后的文件如右图 3 所示。



图 3 RT 相关 library 库文件

2.3 系统配置工作

对DS1006的flash card的配置。解压

“RT73_DS1006QC70_dp.zip”文件后，把文件夹

“Linux_application”中的两文件（gt_ds_appl和 application.sh）和GT-SUITE-RT相关模型*.dat文件

拷贝到DS1006的flash card的/custom/application文件夹中去；如有时flash card是空白的，可以从dSPACE的安装目录DS1006QC_ASP\CF_Card\中把所有文件拷贝flash card中。拷贝后，flash card的根目录和文件如图4所示。

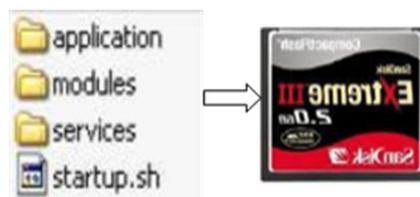


图4 文件to flash card

3 模型搭建

在GT-SUITE 仿真软件中建立EV 整车环境模型，包括整车控制及电机控制各 I/O 接口。在文件选项菜单中，选择 Chance license Usedd 命令，建模型转换为实时仿真 RT 模型。如图 5 所示。

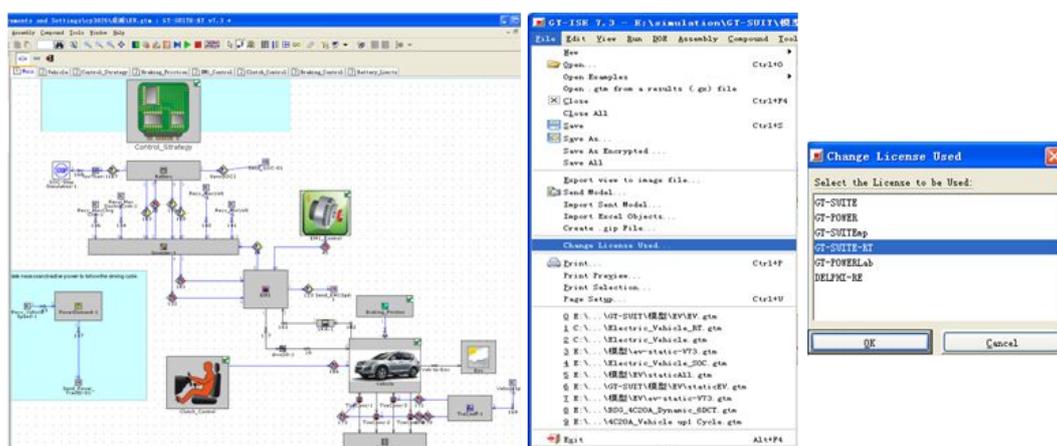


图 5 EV RT 模型及转化过程

4 台架配置

4.1 台架硬件配置

将VCU、MCU、BMS各控制系统通过硬件线束与HIL机柜连接，使控制器和运行被控对象的HIL机柜形成闭环，通过上位机监控测试。装载flash card后，开启HIL，打开controdesk，加载project，关联控件，准备编译模型，导入sdf文件，注册板卡，在线交互，进行通道的激励测试、开环测试和闭环测试，如图6所示。



图 6 台架连接示意图

4.2 模型编译

在Matlab环境下，用模板“GT-SUITE-RT dSPACE Model”替代SIMULINK文件*.mdl文件中的“GT-SUITE-RT Model”，并输入与被替代模板中相同的参数；在现有的*.mdl文件中，拖入模板：“DS1006QC_ASP Init”和“DS1006QC_ASPTrigger Linux Interrupt”，并在*.mdl文件中增加“Stop Simulation”模板以方便便利的终止仿真计算，如图7所示。

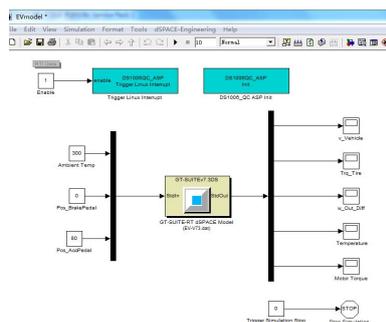


图 7 模型编译

定义编译参数，具体设定如图 8 所示：在 solver 页，设置开始时间为 0，设置终止时间为 inf；设置仿真步长为 ‘Fixed-step’；设置定点仿真步长时间与 ‘GT—SUITE-RT’ 相同；关闭 ‘Block reduction’；关闭 ‘Signal Storage reuse’；Real-Time WorkShop，设置目标文件为 rti1006.tlc；RTIsimulation，设置执行方式为 ‘real-time’。

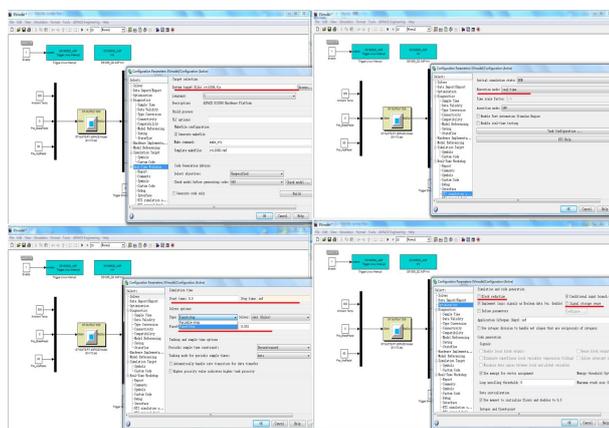


图 8 模型编译

5 模型测试及结果分析

5.1 模型测试

列举进行一典型工况循环测试评价过程为例，生成的工况循环测试曲线如图 9 所示。其中绿色曲线为实际运行曲线，红色曲线为路谱基准曲线。

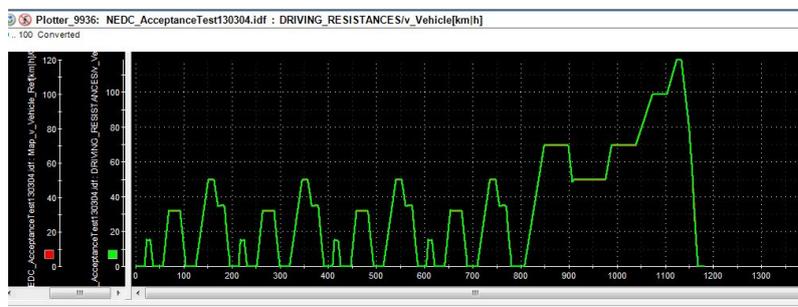
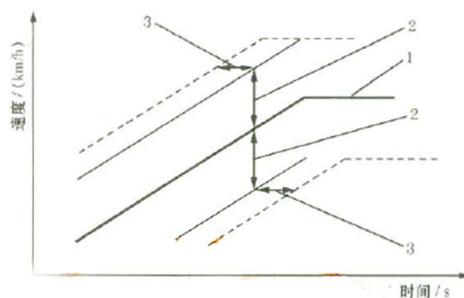


图 9 运行完成后的 NEDC 工况循环测试曲线

依据 GBT 18386-2005 电动汽车能源消耗率和行驶里程试验方法中的 4.4.2 所规定的内容制定，

4.4.2 中规定试验循环上的速度公差和时间公差应该满足图 10 给出的公差和基准曲线要求。



图中：1——基准曲线；
2——速度公差，单位为千米每小时(km/h)；
3——时间公差，单位为秒(s)

图 10 基准曲线和公差

图 10 中的每一个点给出的速度公差为±2km/h，时间公差为±1s。在每个循环中，允许存在超出这些公差范围，总时间应不超过 4s。在试验报告中应注明超出公差总时间。

5.2 结果分析

模型运行后，导出工况循环测试数据，加载到 MATLAB Workspace 中。编制工况曲线分析程序，如图 11 所示。点击绿色运行按钮，运行完成后的曲线如图 12 所示。

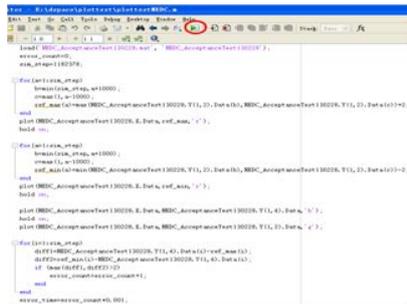
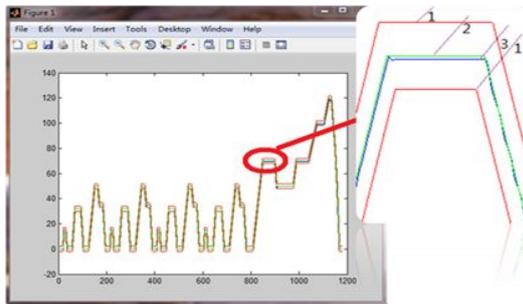


图 11 工况循环测试程序



1—速度、时间公差曲线；
2—基准曲线；
3—实车跟随曲线。

图 12 工况曲线分析图

运行结果如图 13 所示，结果分析显示控制系统响应跟随曲线与 NEDC 基准曲线误差都在速度、时间公差曲线内，误差时间 error_time 为 0s（小于 4s），满足 GBT 18386-2005 电动汽车能源消耗率和行驶里程试验方法中 4.4.2 的要求。

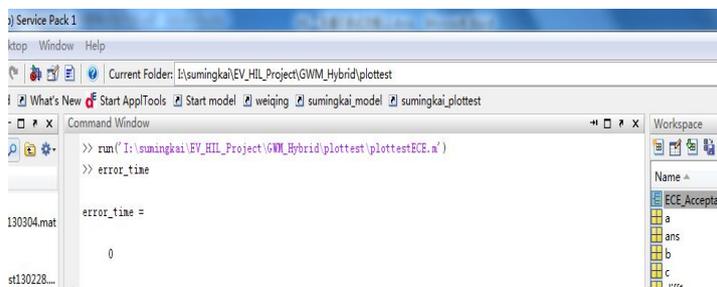


图 13 工况曲线分析结果

通过 HIL 台架测试的控制系统，搭载在长城某款纯电动汽车上，进行实车转毂典型工况测试，部分测试数据如图 14 所示，结果表明整车控制系统可以很好的响应工况速度的要求，证明了模型的

准确性以及验证方法的正确性。

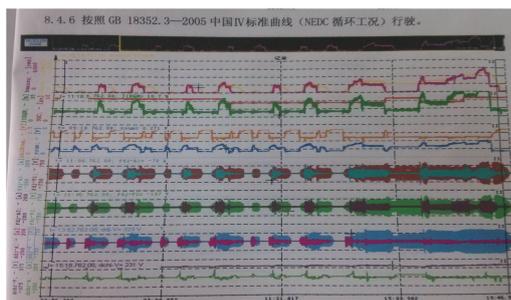


图 14 工况曲线分析结果

6 总结

6.1 本文介绍了一种基于GT-SUITE-RT与HILS台架联合应用的开发验证测试方法。利用GT-SUITE软件可以快速高效的建立基于数据和经验积累的整车环境模型，可以在整车开发前期对控制器进行一个环境可控的测试，来验证控制系统功能逻辑是否满足设计要求，为项目开发节省了大量的时间。

6.2 文中详尽介绍了各环节配置事项及调试步骤，可以作为GT-SUITE-RT与HILS台架联合应用操作的指导性工具，为其他研究人员或工作者提供参考。

6.3 根据长城公司某款纯电动车典型工况的模拟测试分析，并进行实车的工况测试对比，结果表明了整车控制系统可以很好的响应工况速度的要求，证明了模型的准确性以及上述开发验证测试方法的正确性。

7 参考文献

- [1] 薛定宇, 陈阳泉 编, 《基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用 (第 2 版)》, 清华大学出版社, 2011-2-1。
- [2] 宋百玲 编, 《柴油机控制系统硬件在环仿真技术》, 国防工业出版社, 2011-1-1。
- [3] GT-suite 7.3 宣传手册。
- [4] dSPACE Simulator product information, <http://www.dspaceinc.com>。