

# MATLAB EXPO

## 2021

### 基于Speedgoat平台的PMSM控制器硬件在环仿真 PMSM Inverter HIL Based on Speedgoat

王律明

*Johnson Control – Hitachi Wuxi*



## 关于Johnson Controls–Hitachi

### ■ Johnson Controls–Hitachi

一家提供创新的HVAC解决方案的公司。

成立于2015年10月1日，由Johnson Controls（始于1885年）与Hitachi（成立于1910年）合资建立。

愿景（Vision） - A safe, comfortable and sustainable world

### ■ Portfolio



HITACHI



YORK

Commercial Air Conditioning & Refrigeration  
Residential Air Conditioning  
Large-Tonnage Chiller, Compressors  
Commercial/Industrial Dehumidifier  
Environmental Testing

### ■ Wuxi - Global Engineering & Technology Center

Controls团队负责变频器，控制板，线控器，IoT等产品的开发。



## 内容

---

- 变频器MBD开发及问题
- 硬件在环实时仿真平台
- HDL Plant模型开发
- 实时仿真及自动测试

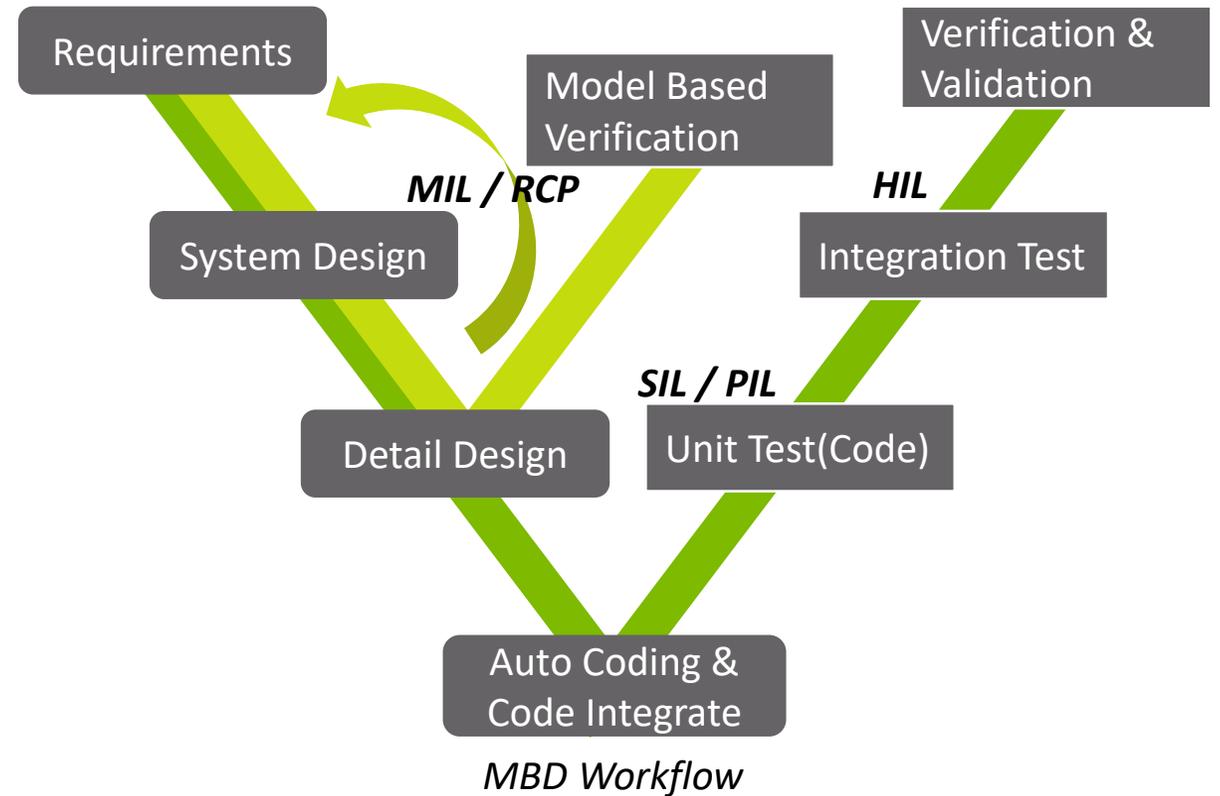


# MBD在变频器产品开发中的应用

## ■ MBD的目的（收益）



## ■ 变频器控制软件MBD开发流程



## 变频器软件MBD开发中的问题

### ■ 问题

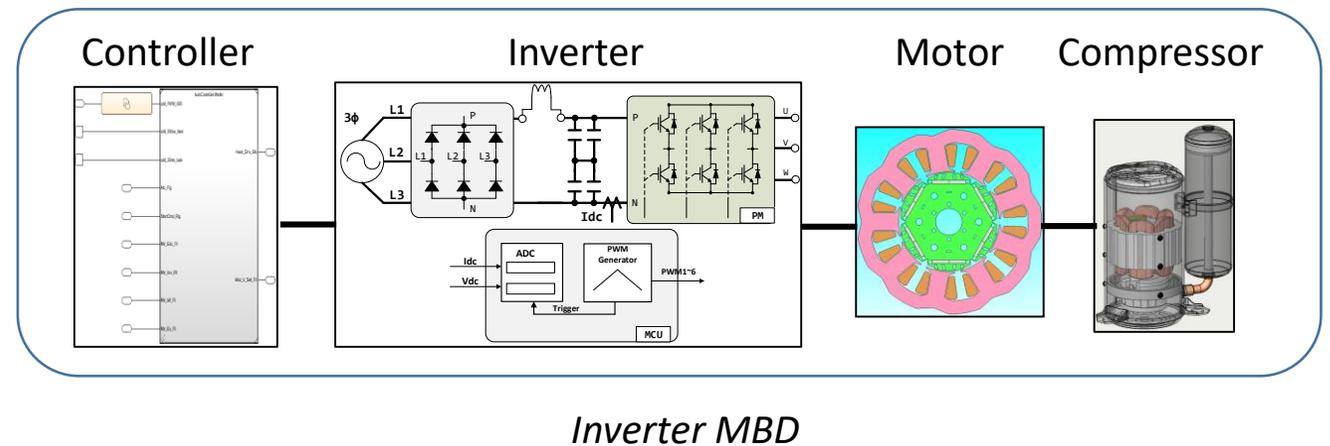
变频器MBD后，在Simulink下的控制算法仿真验证可以在开发的较早阶段进行，自动代码生成也降低了代码存在缺陷的风险。但是还存在一些问题：

1. Sensor-less one shunt FOC，模型复杂，导致仿真速度慢
2. 潜在的问题直到Lab Test阶段才能完全暴露

### ■ 对策

引入硬件在环实时仿真，从而达到：

1. 减少Lab Test时间，降低开发成本
2. 缩短产品开发周期
3. 多目标控制优化
4. 增强产品质量



## 硬件在环实时仿真平台

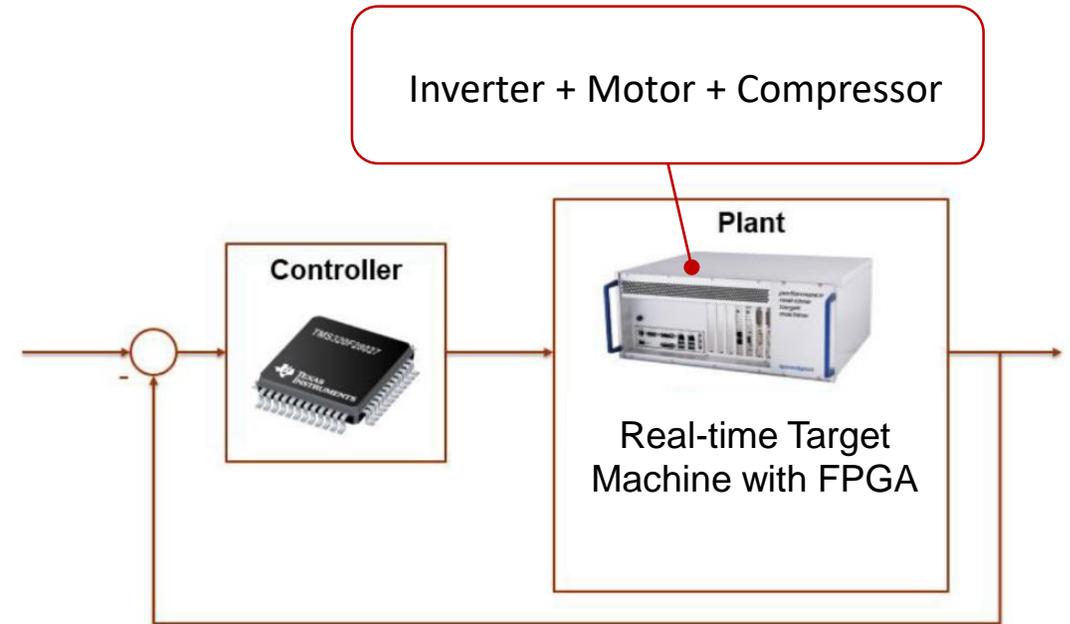
### ■ 目标

高精度，具有实时性和自动测试能力的硬件在环仿真平台。

- 在开发早期通过RCP对算法进行实时仿真
- 通过HIL充分验证控制算法及代码，以减少Lab时间
- 与变频器Simulink MBD控制模型无缝集成

### ■ 工作原理

- 控制器(MCU)与实时目标机闭环运行
- MCU运行控制程序(Auto code + Hand code)
- 目标机FPGA运行HDL Plant模型



Working Principle



#### FPGA 的特性

**Speed (Real-time):** FPGA rely on hardware to realize all the functions, speed can be compared with the special chip

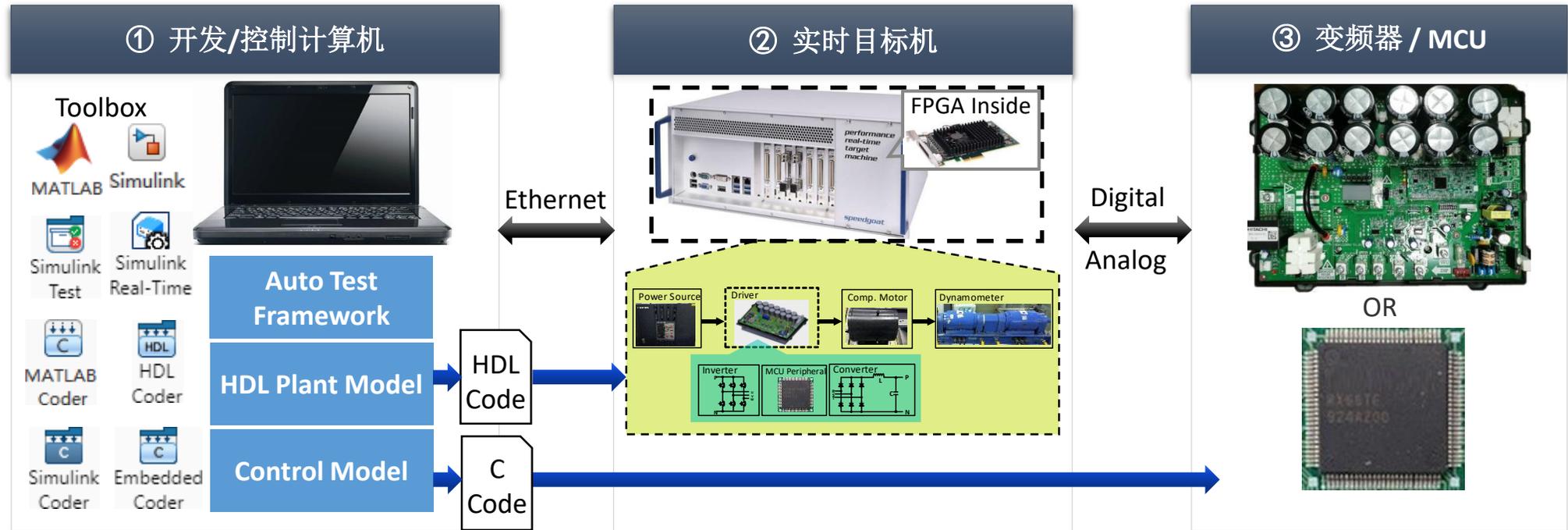
**Programmable:** Support VHDL to program. Can be developed under Matlab Simulink and auto generator VHDL code for FPGA.

#### 为何使用FPGA?

目标机的CPU能实现的最小周期是受限的（8us）。借助FPGA特性以数字电路的并行运算方式，实现比CPU串行运算快得多的处理速度。

# 硬件在环实时仿真平台

## ■ 平台构成



Real-time HIL Platform Overview

开发阶段：  
 控制模型开发  
 HDL Plant模型开发  
 其他功能的开发  
 HIL测试阶段：  
 控制目标机的运行并获取数据

HDL Plant模型的部署及运行

- Speedgoat实时目标机配置
  - 高性能实时目标主机
  - 可编程FPGA模块 (IO334-325K)
  - I/O接口模块(IO3XX-21)
  - FPGA模块驱动及软件集成包

运行控制程序 (Auto code+ Hand code)

# HDL Plant 模型设计

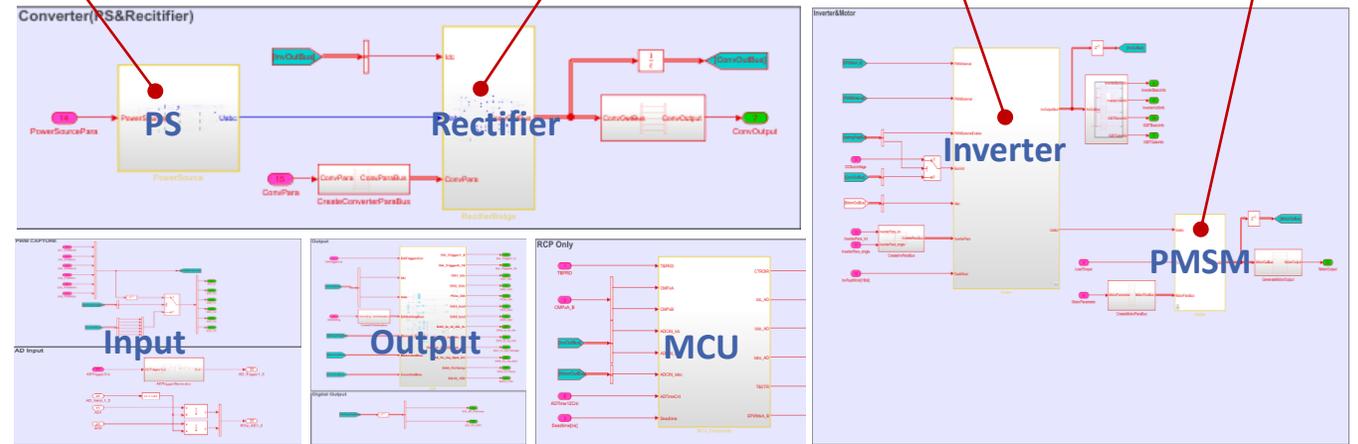
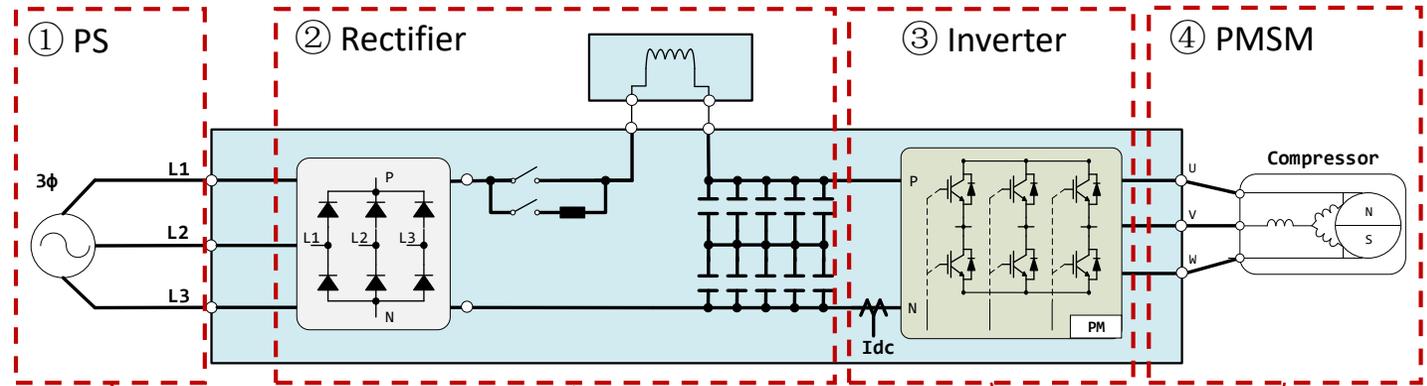
## 设计的模型

使用支持HDL Coder的库模型构建Plant模型

- Power Source模型
- 3 $\phi$  Rectifier模型
- Inverter模型
- PMSM模型
- Simple MCU PWM&AD Peripheral模型
- Input / Output模型

## 注意事项

- 使用“hdlsetup”设定模型的基本配置
- 在FPGA上运行的Plant模型需放在1个Subsystem中
- FPGA各子模型的速率合理分配。不同速率模型间信号传递，使用Rate Transition等模块严格区分
- 检查关键路径，过长的关键路径需要添加合适的寄存器来进行缩减

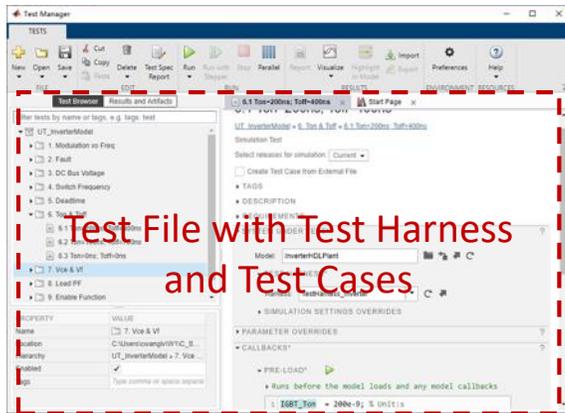


HDL Plant Model

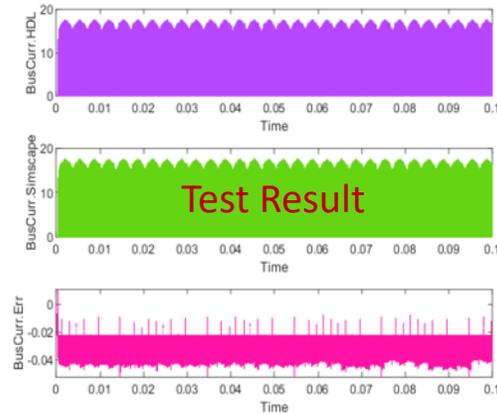
# HDL Plant 模型设计

## ■ HDL Plant模型验证

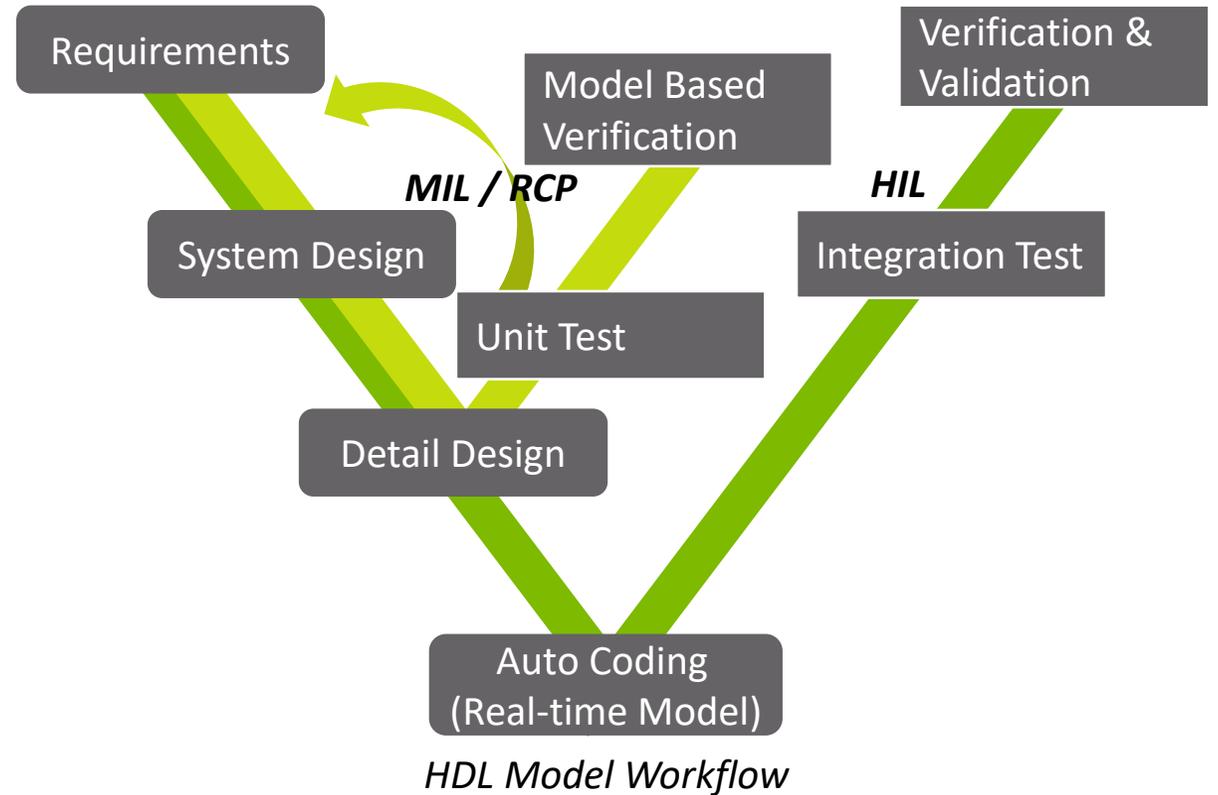
在Simulink下，创建Test Harness，通过Test Manager创建Test Cases实现单元模型的测试



Model Unit Test



HDL Plant模型的设计遵循MBD V Model设计流程。

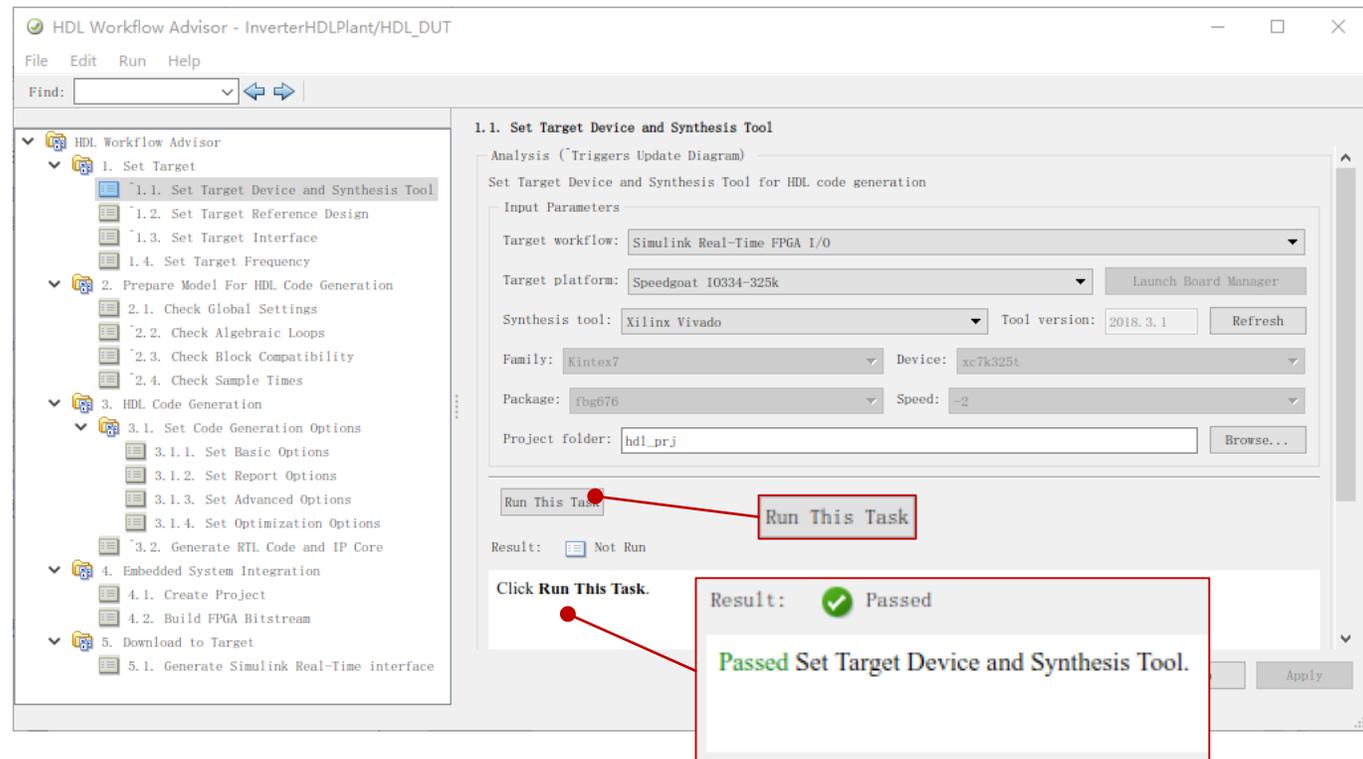


# Real-time Plant 模型生成

## ■ HDL Workflow Advisor生成Real-time Plant 模型

通过HDL Workflow Advisor来实现Real-time Plant模型的生成。步骤：

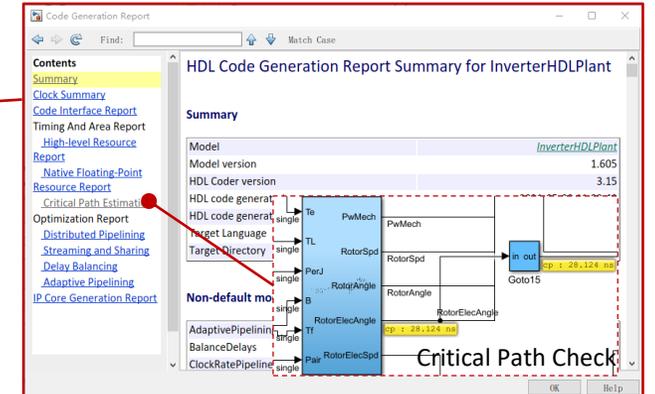
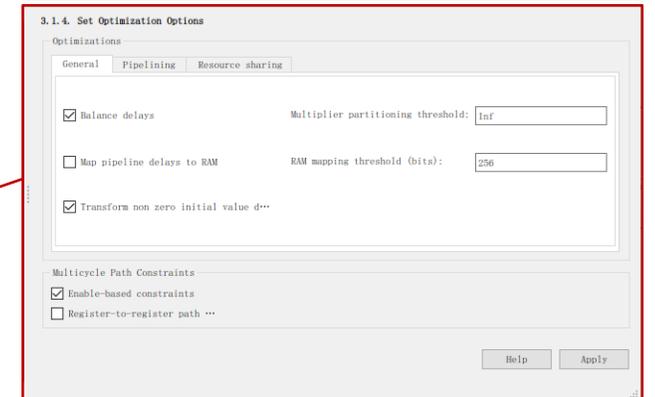
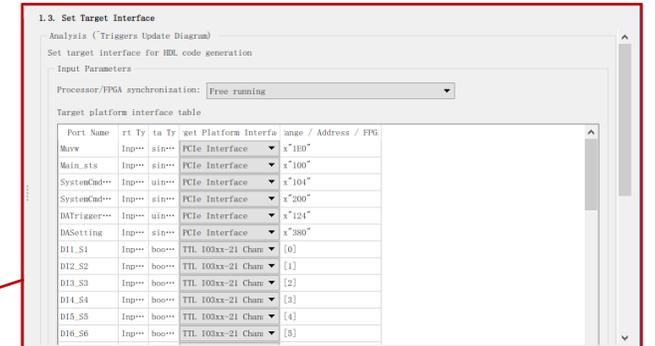
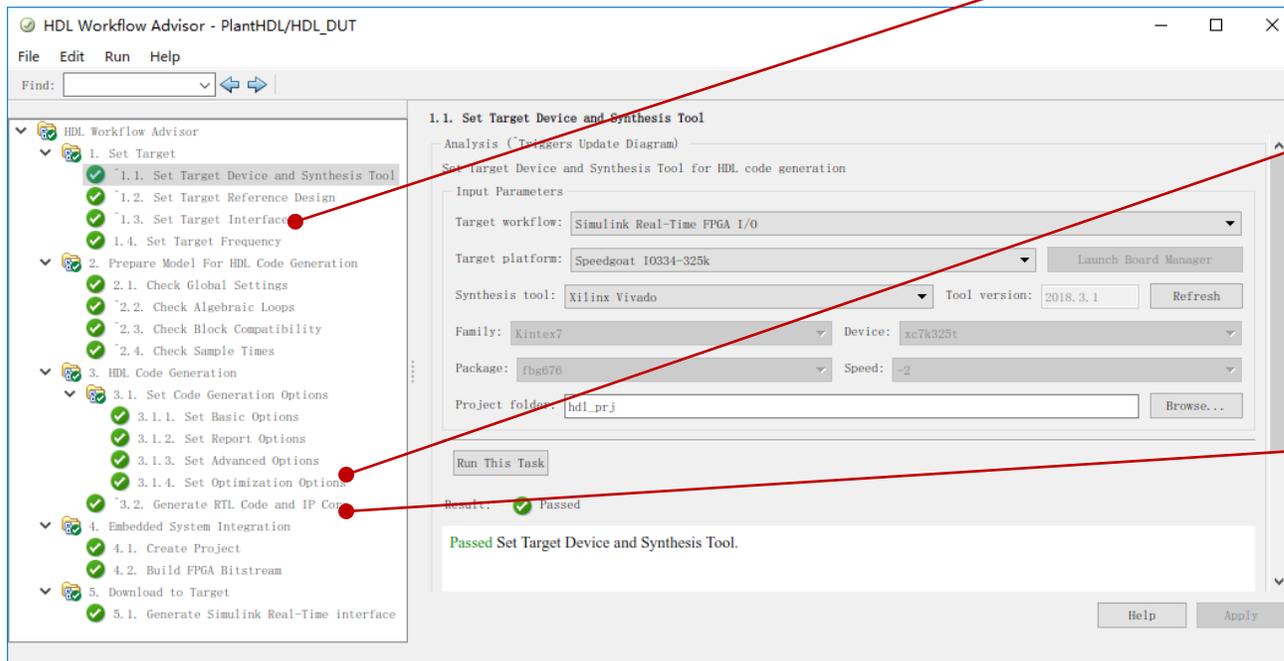
1. 设定实时目标机（Set Target）
2. 为HDL代码生成准备模型（Prepare Model For HDL Code Generation）
3. HDL代码生成（HDL Code Generation）
4. 嵌入式系统集成（Embedded System Integration）
5. 下载到目标机（Download to Target）



# Real-time Plant 模型生成

## ■ HDL Workflow Advisor生成Real-time Plant 模型

- 在1.3 Set Target Interface设置输入输出接口地址
- 在3.1.4 Set Optimization Options选择合理的优化选项
- 在3. HDL Code Generation完成后，检查代码生成报告

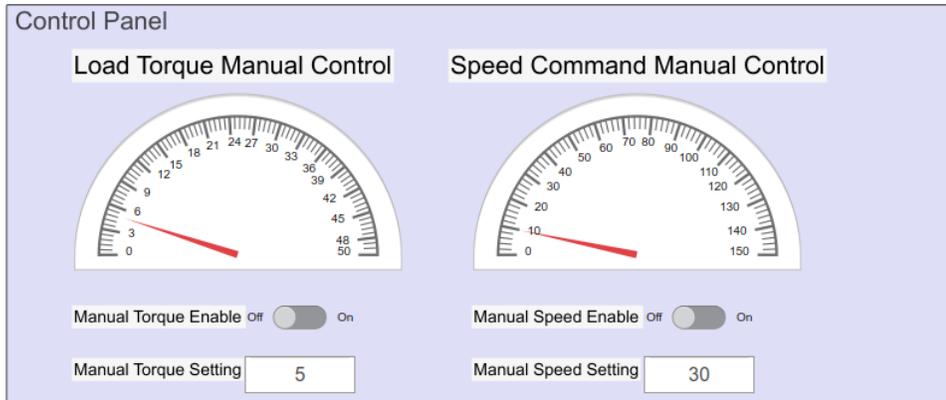


# Real-time Plant 模型生成

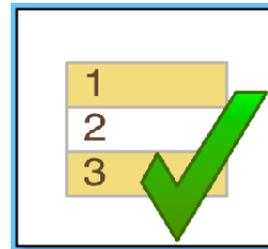
## Real-time Plant 模型完善

生成的Real-time Plant模型可直接使用。也可创建多个Test Harness来实现不同的测试功能。

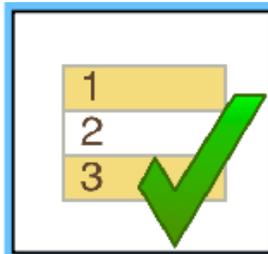
给Real-time Plant模型增加额外的输入（Simulink Library Dashboard库模块），引入Test Sequence、Test Assessment模块，可借助Speedgoat CPU模型来传递参数/变量给Real-time Plant模型，从而实现更多复杂的功能。



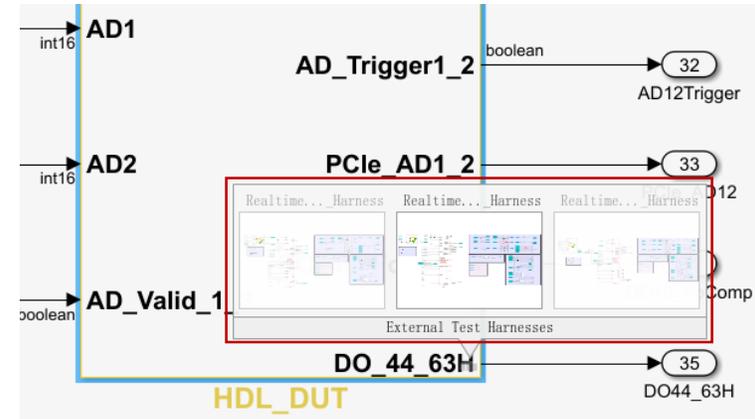
Control Panel for Command Input



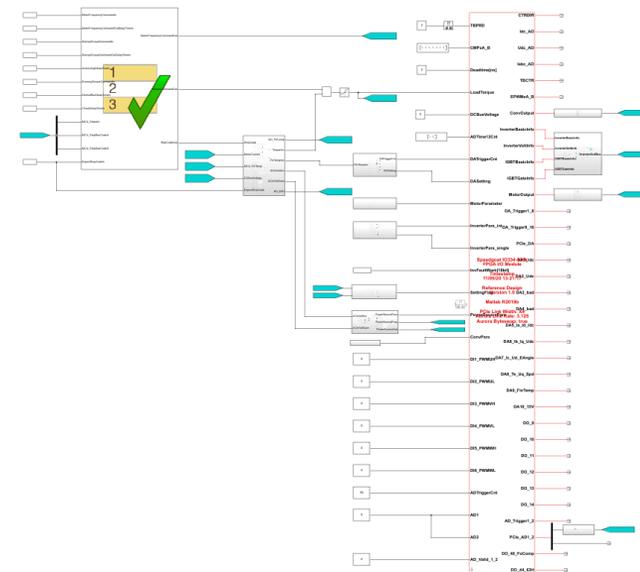
Test Sequence



Test Assessment



Multiple Test Harness for Different Test Purpose



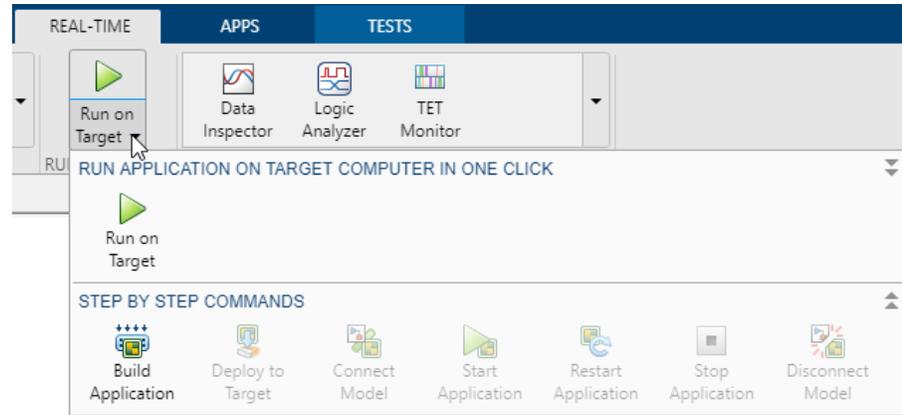
Test Harness Example

# Real-time 仿真

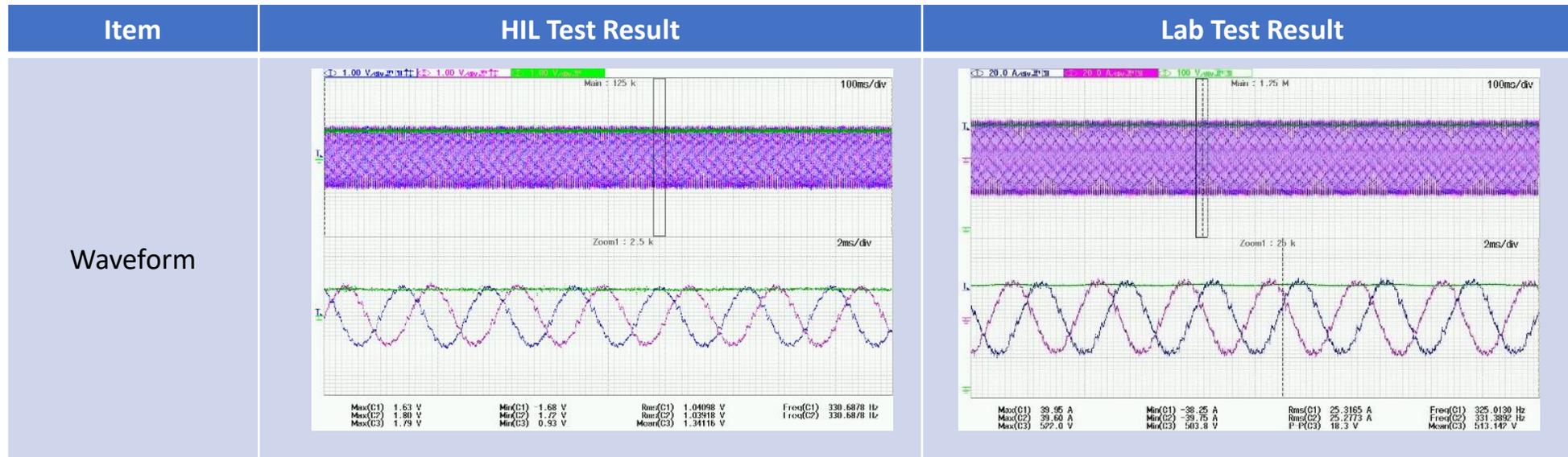
## Real-time仿真运行

在保证开发计算机与Speedgoat连接正常的情况下，通过Simulink直接控制HIL平台的启停及获取运行数据。

HIL运行结果与Lab Test结果的比较见下图。



Run Real-time Model

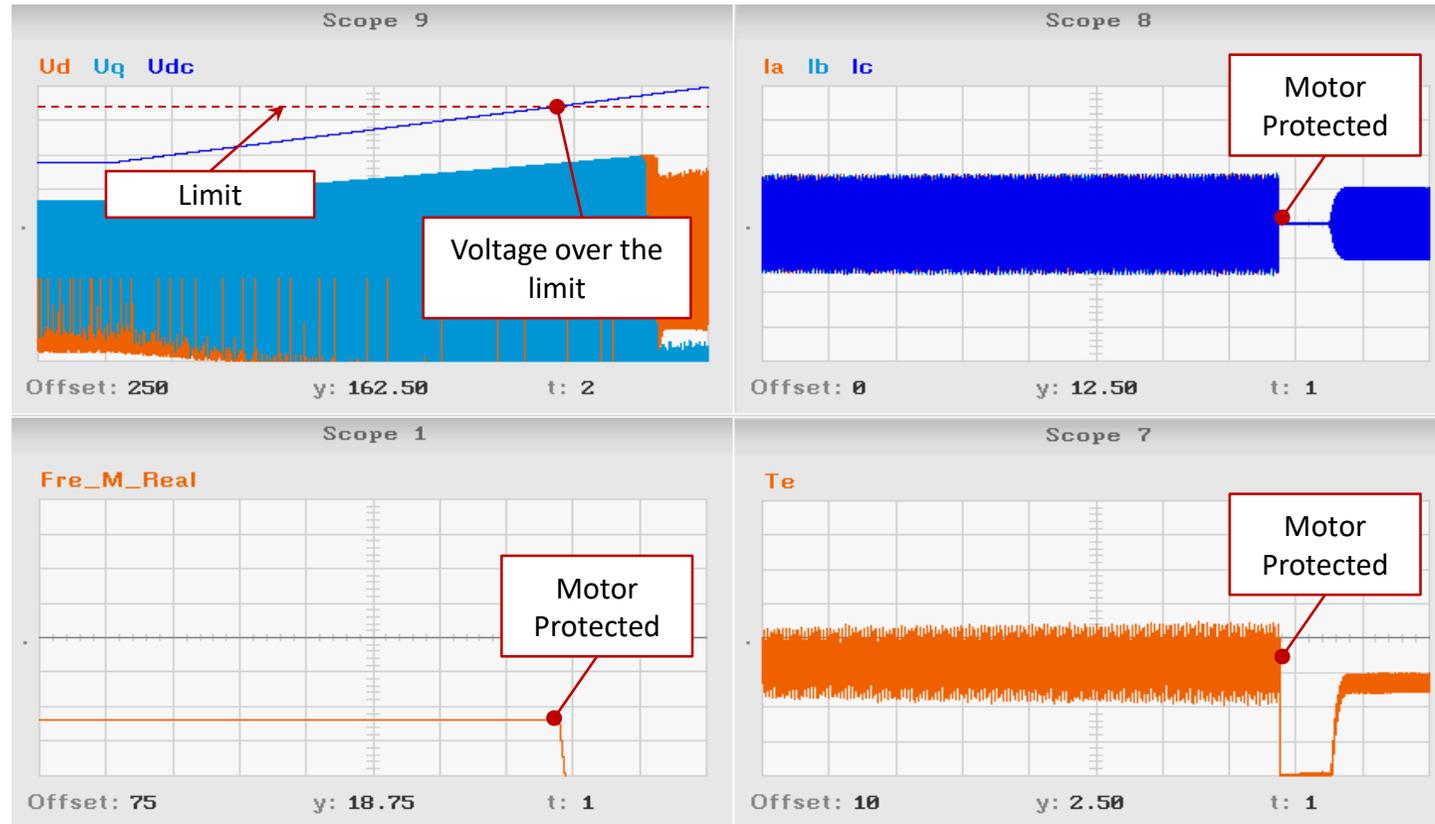


HIL Test Result Compare with Lab Test Result

# Real-time 仿真

## Real-time仿真运行

也可以利用HIL平台实现其他的功能测试，如：保护逻辑的测试。



DC Over Voltage Protection Test

# Auto Testing

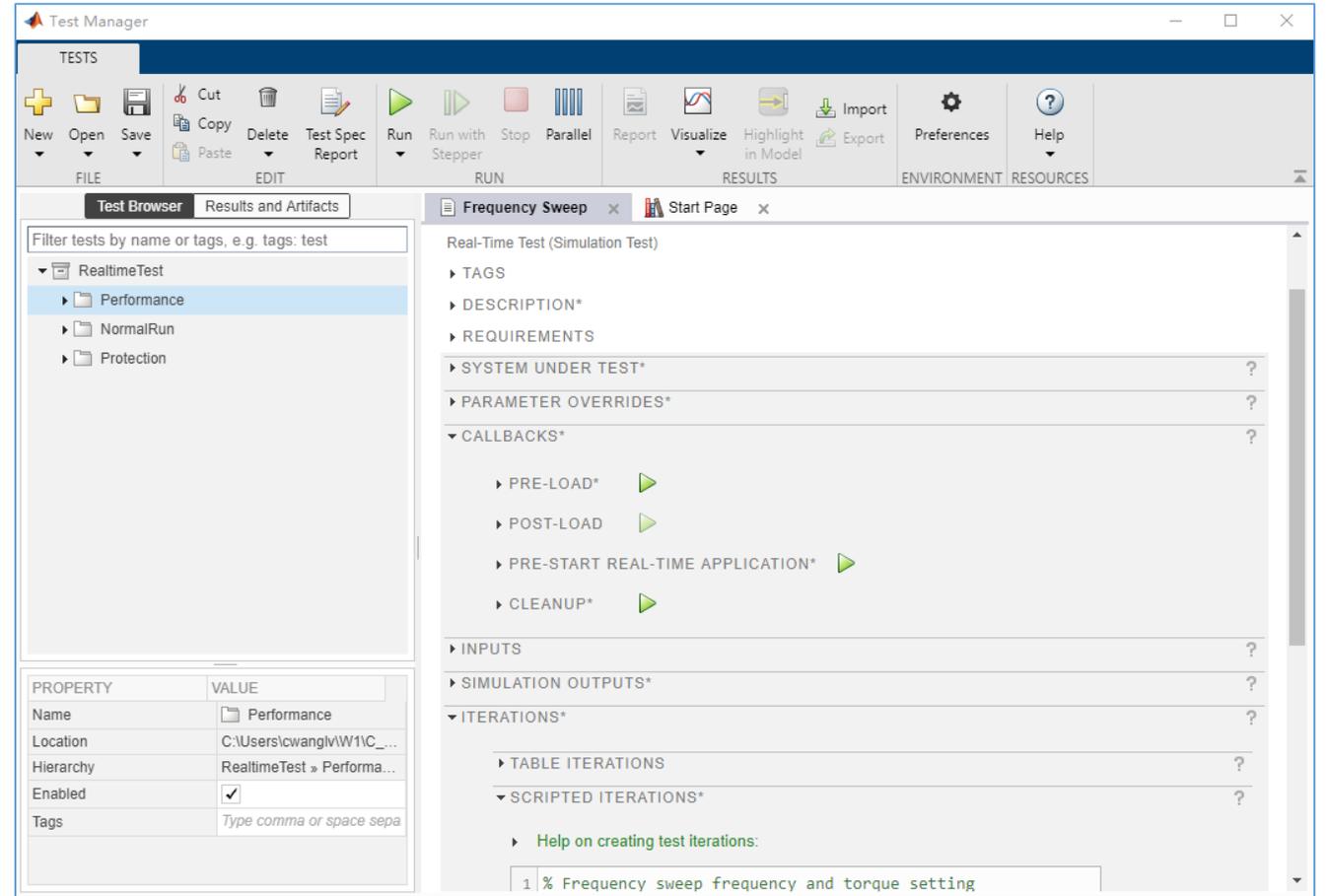
## ■ 自动化测试的目的及意义

把复杂的测试工作从手工转化为机器自动执行

- 降低人为错误率，规避因为人的疲劳和惯性思维导致的错误
- 增加软件的信任程度
- 加速回归测试
- 提升执行效率，降低人力成本

## ■ 自动测试框架目标

- 自动控制实时目标机运行测试项目
- 自动检查测试数据，判断测试通过或失败
- 自动创建带有测试数据和信号波形的测试报告



# Auto Testing

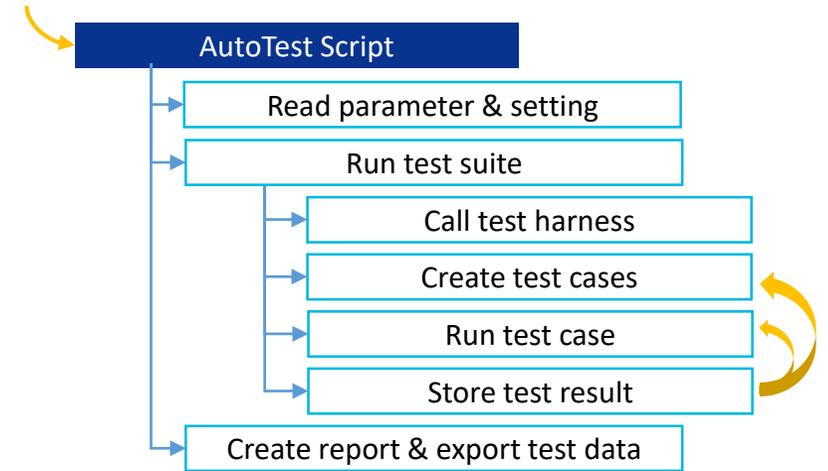
## 自动测试框架的构成

- 测试输入文件：输入并存储Plant模型参数、测试条件参数
- Test Harness：为不同测试目的构建不同参数传递模型
- Test File：实现Test Manager对Test Harness的关联及Test Cases的自动创建（iterations）
- Script File：自动测试入口、调度及测试数据处理

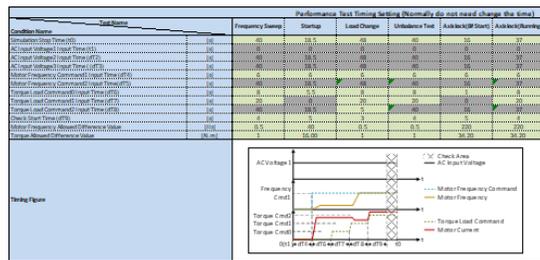
## 调用关系（右图）

## 结果（下图）

Test entrance



Call relationship About Auto Test



Step 1 (Test Input)

AutoTest.m  
one-click

Step 2 (Run Test)



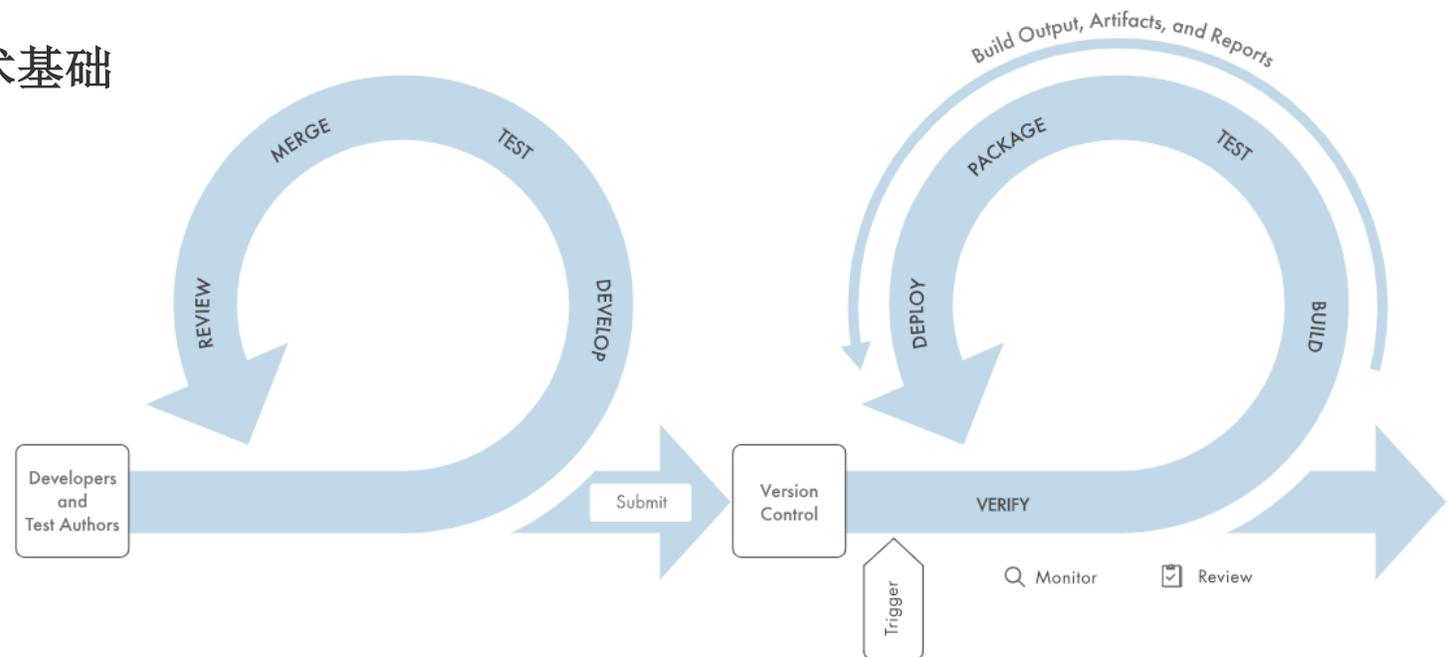
- RealtimeTestResult20200303T145138.mldatx
- RealtimeTestFreqSweepReport20200303T145138.docx
- RealtimeFreqSweep20200303T145138.xlsx

Step 3 (Test Output)



## 总结

- 使用Speedgoat平台并搭载FPGA板卡实现了PMSM Sensor-less One Shunt控制器硬件在环实时仿真
- 借助于HDL Coder及HDL Workflow Advisor可以便捷的进行实时Plant模型的生成及部署
- 创建自动测试框架实现HIL的自动测试进一步提高了开发效率
- 为后续持续集成提供了一定的技术基础



# MATLAB EXPO

## 2021

Thank you

