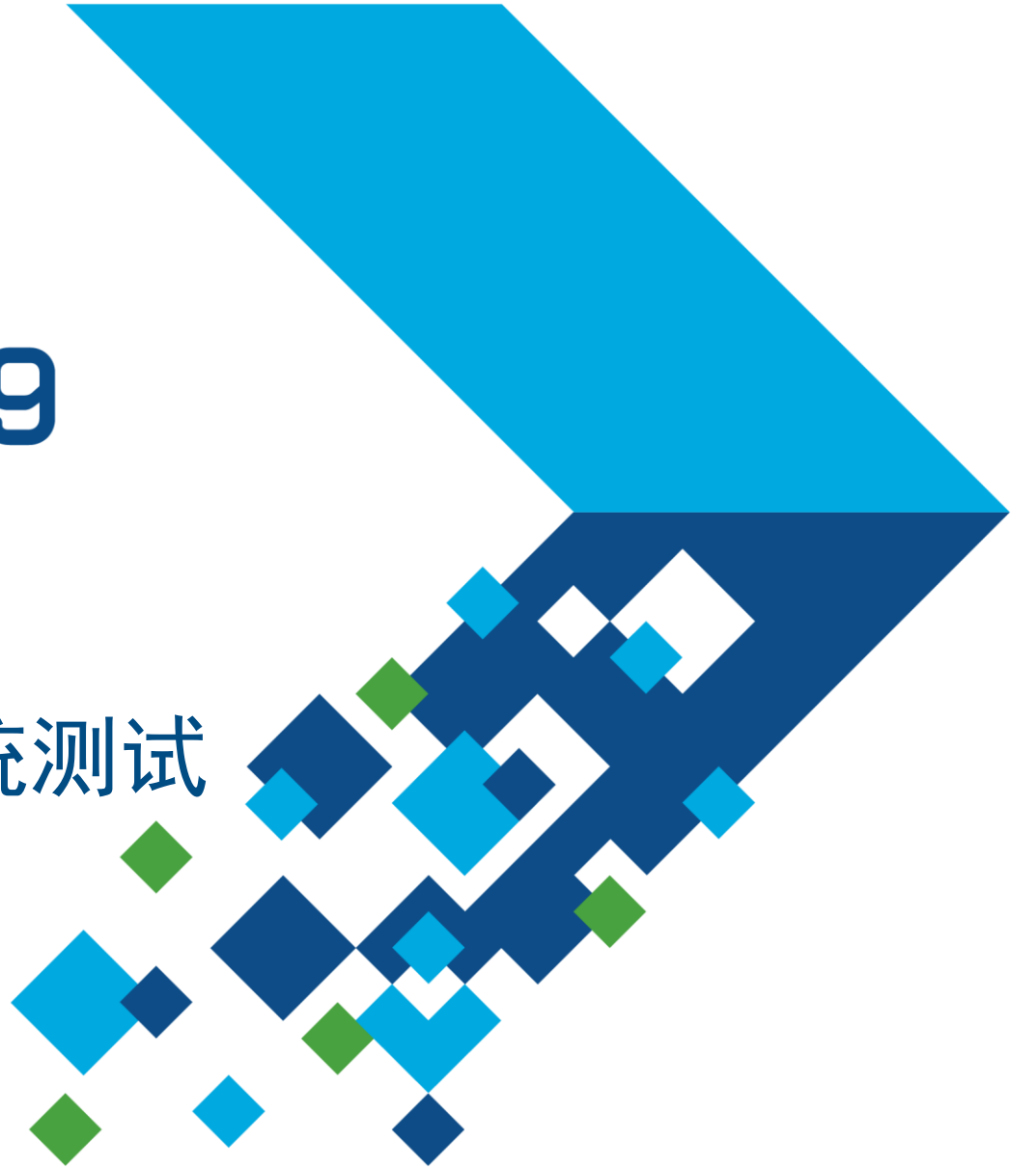


MATLAB EXPO 2019

使用HIL加速电力电子控制系统测试



概要

- 实时仿真在电力电子设计中的必要性
- 使用FPGA模拟电力电子开关特性仿真
- 如何进行电力电子实时仿真
 - 示例 – 光伏逆变器
 - 自动将模型布置到FPGA(2018b新功能)
 - 如何将电路模型转成FPGA代码
 - 在一个环境中完成所有的任务: Simulink
 - 极大地简化工作流程

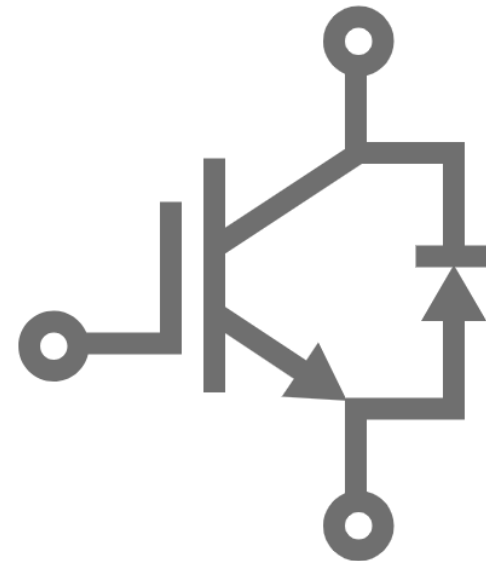
我们的目标？

- 主要目标：设计电力电子硬件和控制器

控制器

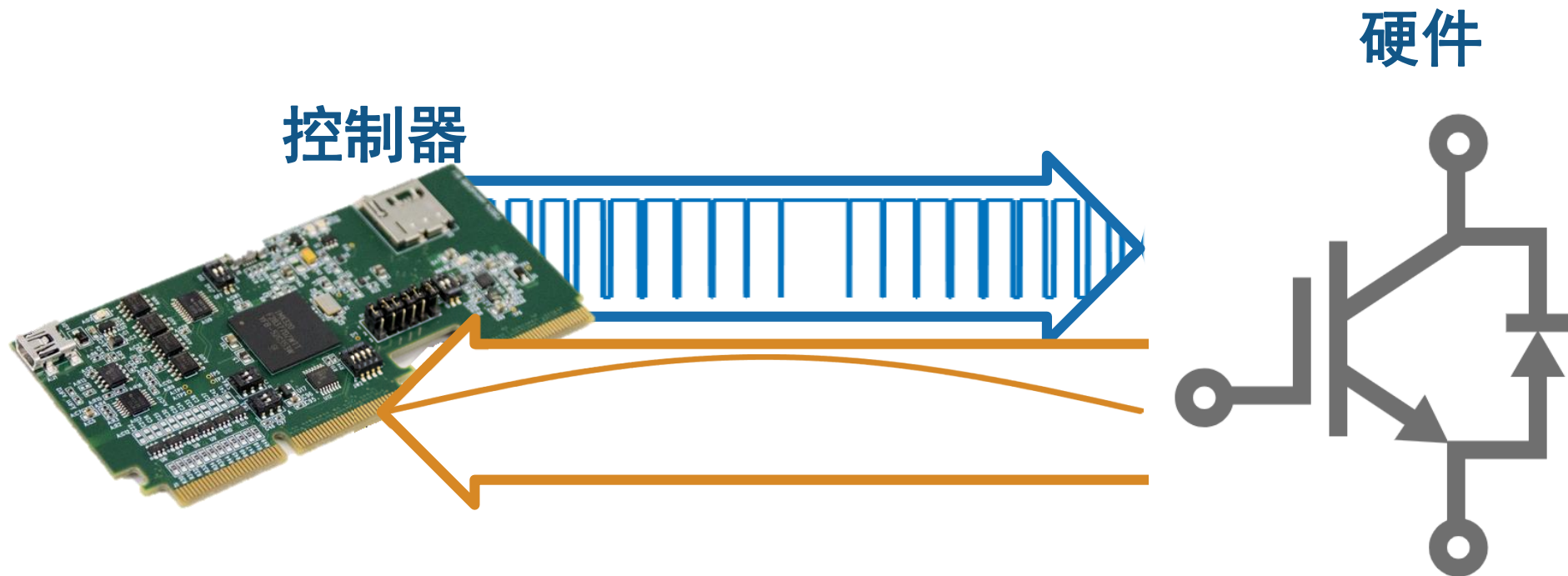


硬件



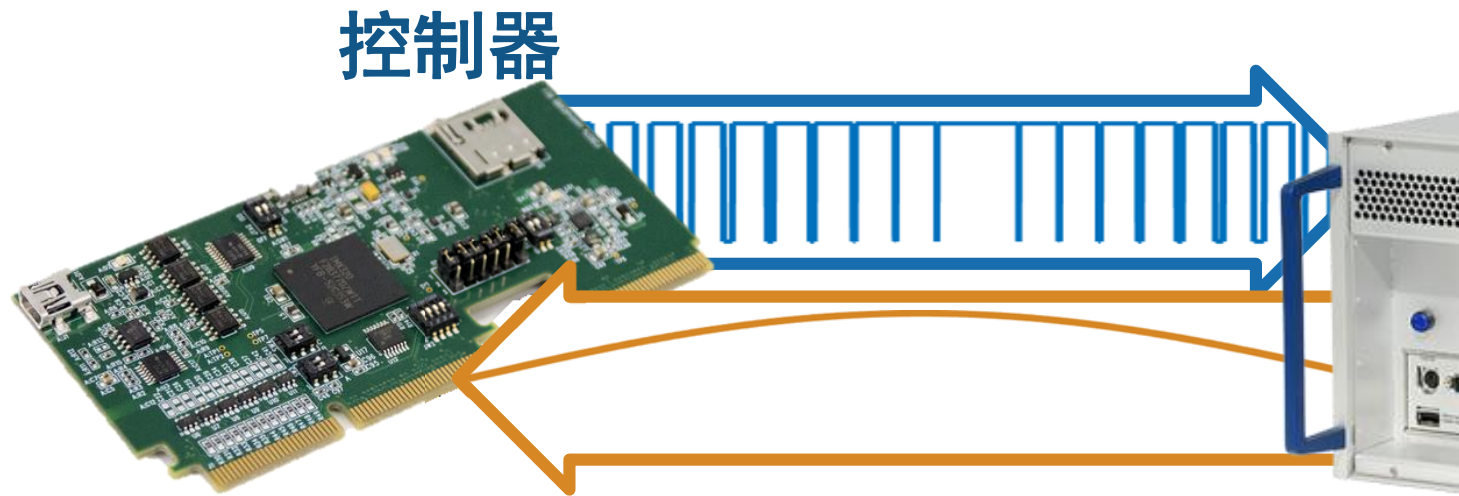
我们的目标？

- 主要目标：设计电力电子硬件和控制器
 - 使用硬件在环测试方法改进开发流程

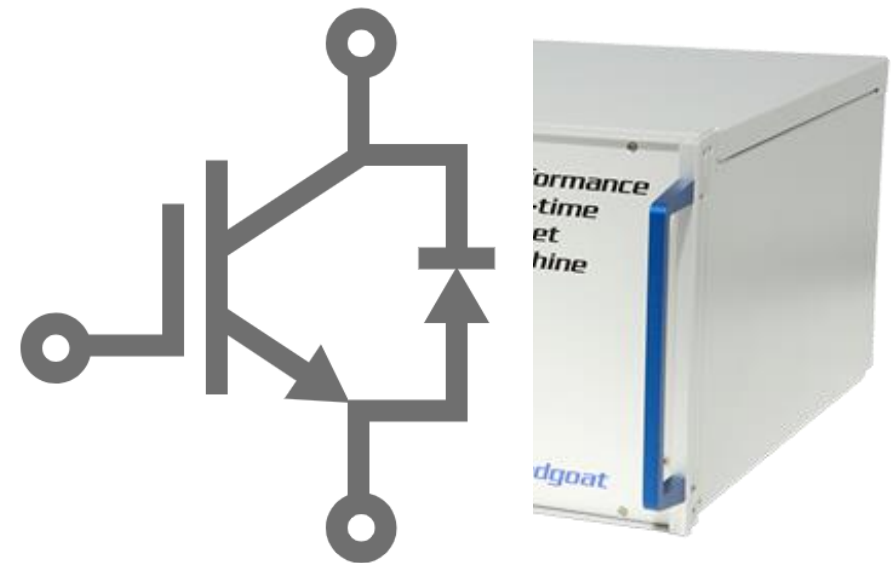


什么是硬件在环测试？

- 使用虚拟模型代替电力电子硬件

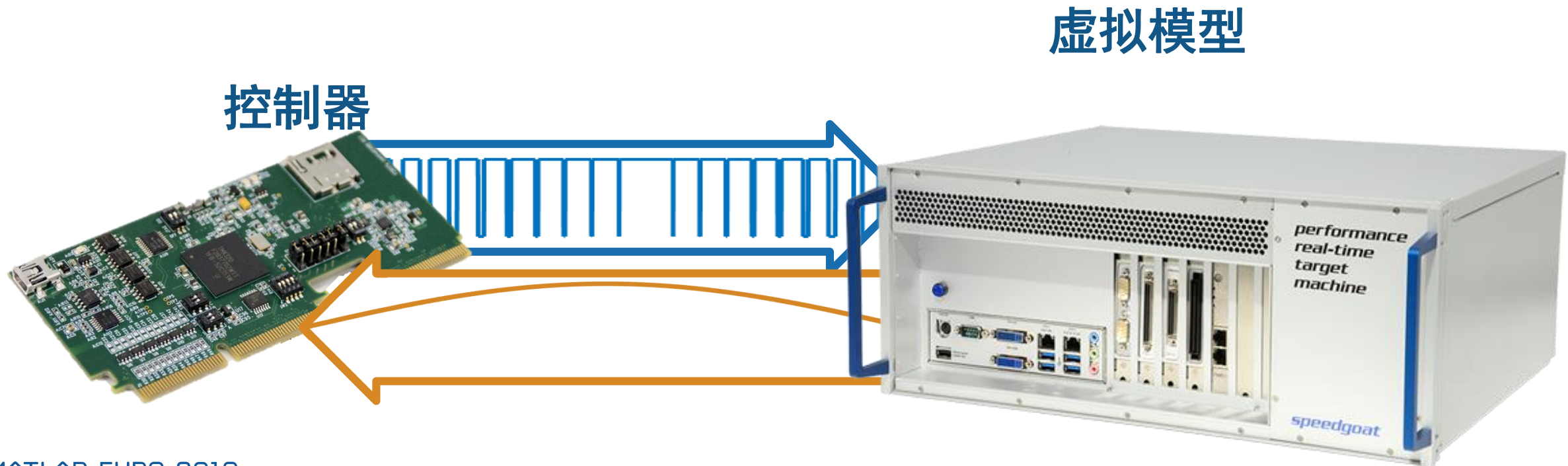


虚拟模型



什么是硬件在环测试？

- 使用虚拟模型代替电力电子硬件
 - 将实际控制器加入硬件在环测试中

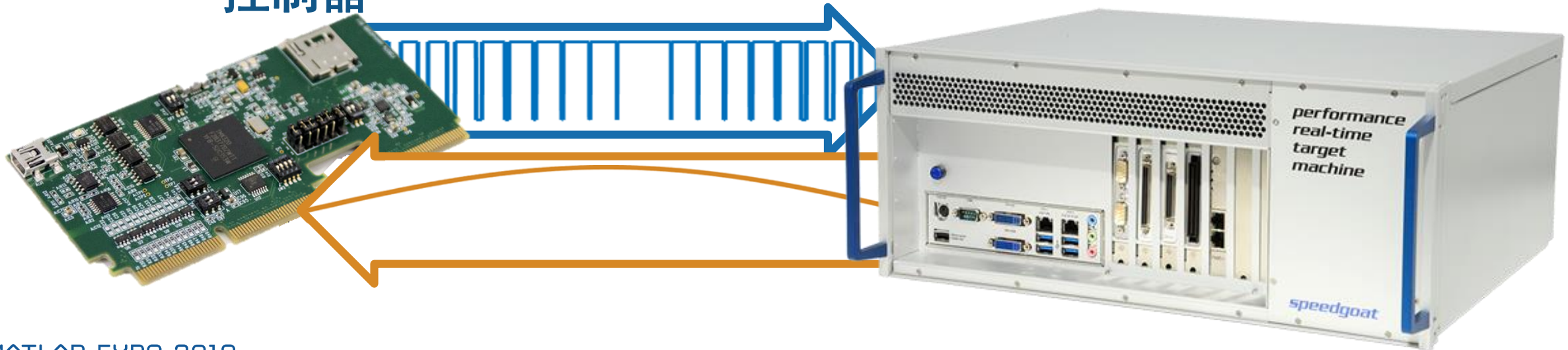


硬件在环测试的优势

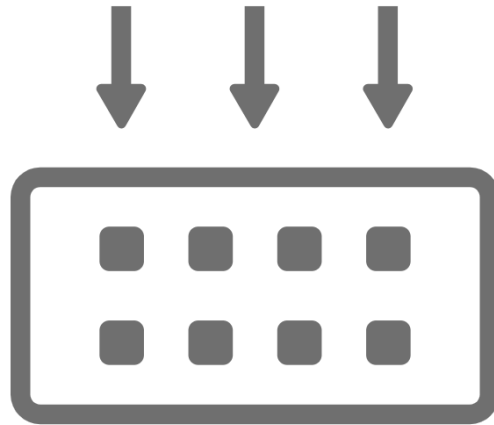
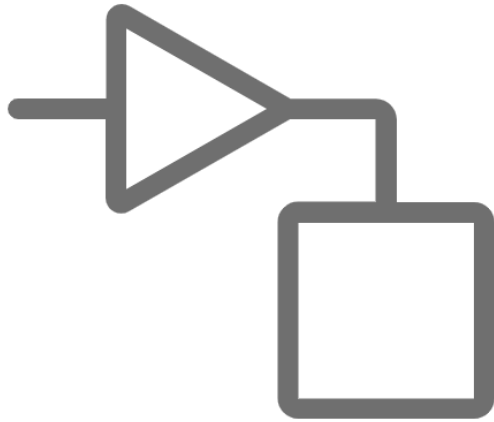
- 可以说使用实时系统代替物理原型和硬件
- 方便实现自动化测试和故障模拟
- 避免电力电子硬件在测试中损坏
- 同时测试多种设计
- 尽早进行测试

控制器

虚拟模型



实时系统构成？



为什么实时仿真需要FPGA?

- 实时仿真面临的挑战
 - 更小的仿真步长
 - 模型复杂度
 - 特定的解算器

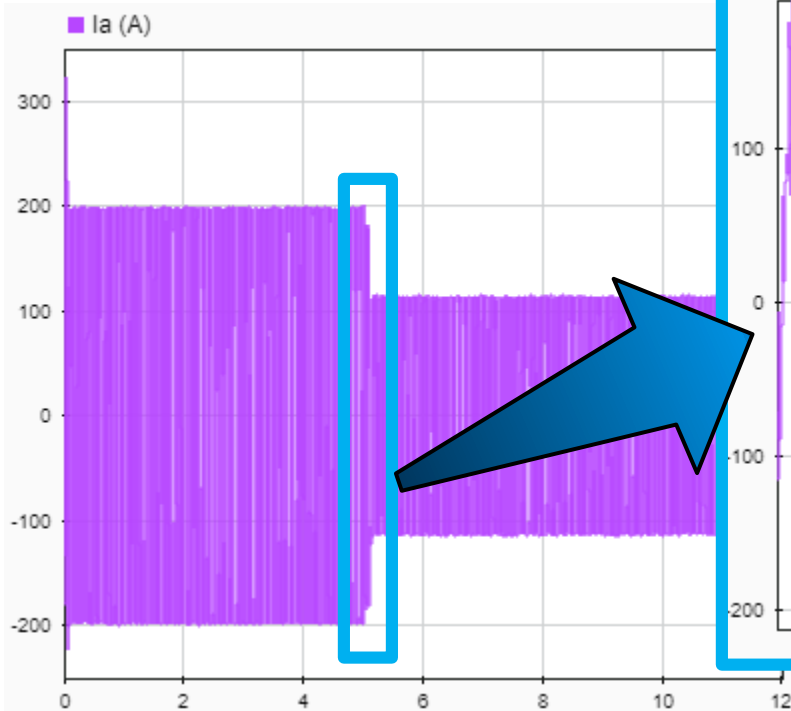
为什么实时仿真需要FPGA?

- 关于仿真步长
 - 热 – 秒
 - 机械 – 毫米
 - 电力系统 – 亚毫米
 - 电力电子 – 微秒
 - 雷达 – 纳秒
- 基于CPU结构的解决方案能达到亚毫秒步长
- 基于FPGA的解决方案能达到微秒步长
 - 对于特定应用能达到亚微秒

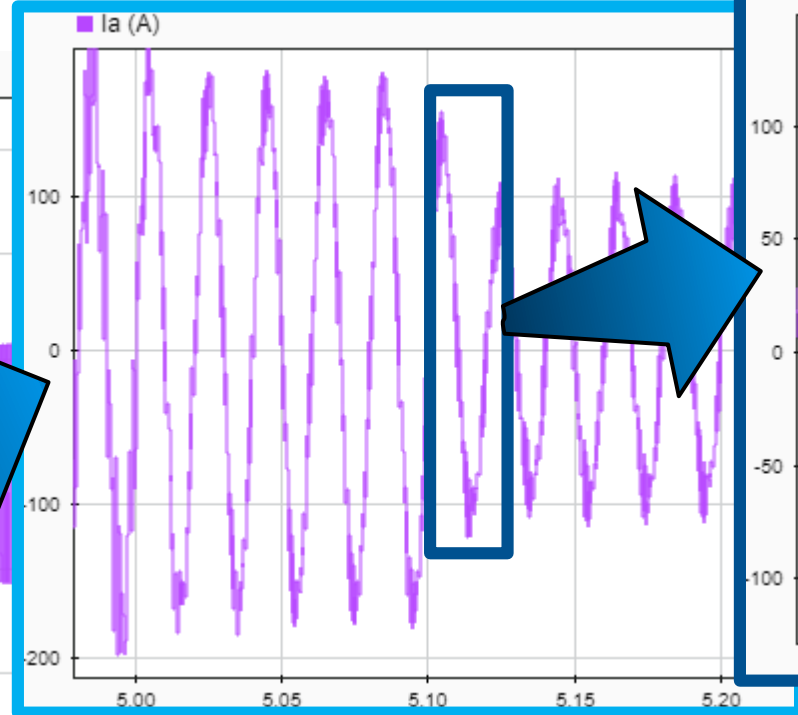
小步长仿真的需求

- 如电力电子应用，需要更高的采样率捕捉暂态特性

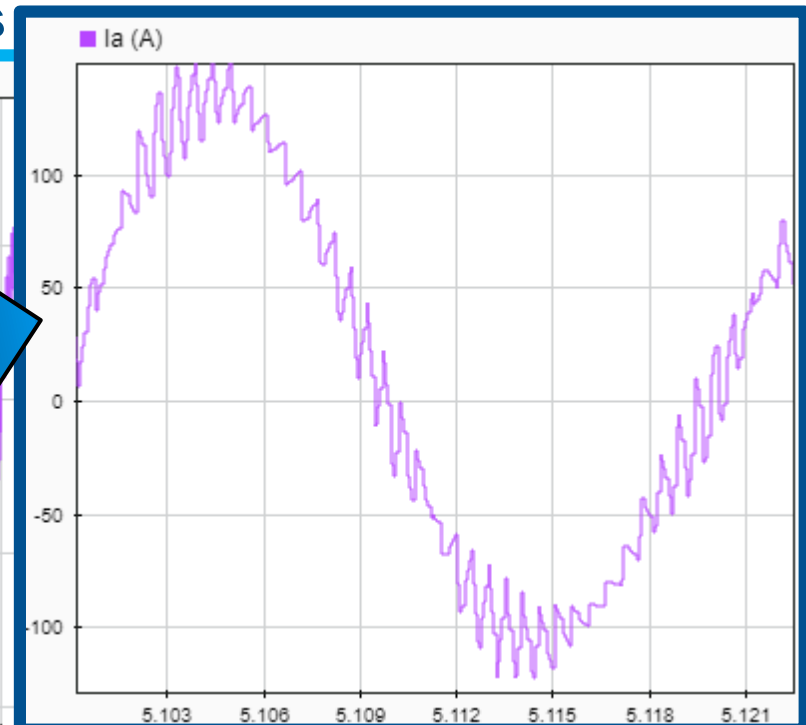
Resolution: seconds



Resolution: milliseconds



Resolution: microseconds



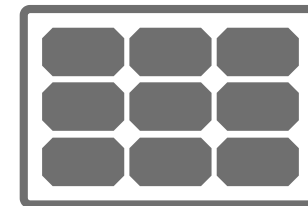
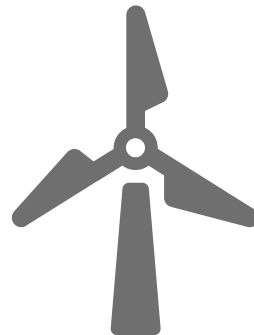
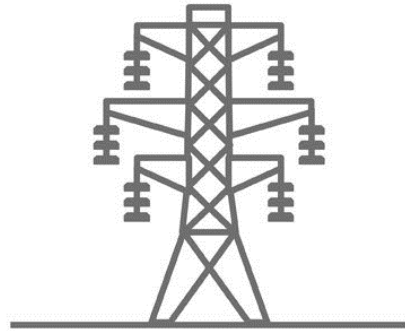
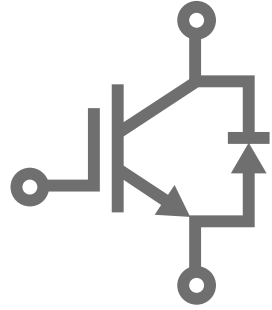
FPGA加速实时仿真的路径:Simscape

1. 建立模型
 - 进行 ‘Desktop Simulation’
 - 结合 Simscape 和 Simulink

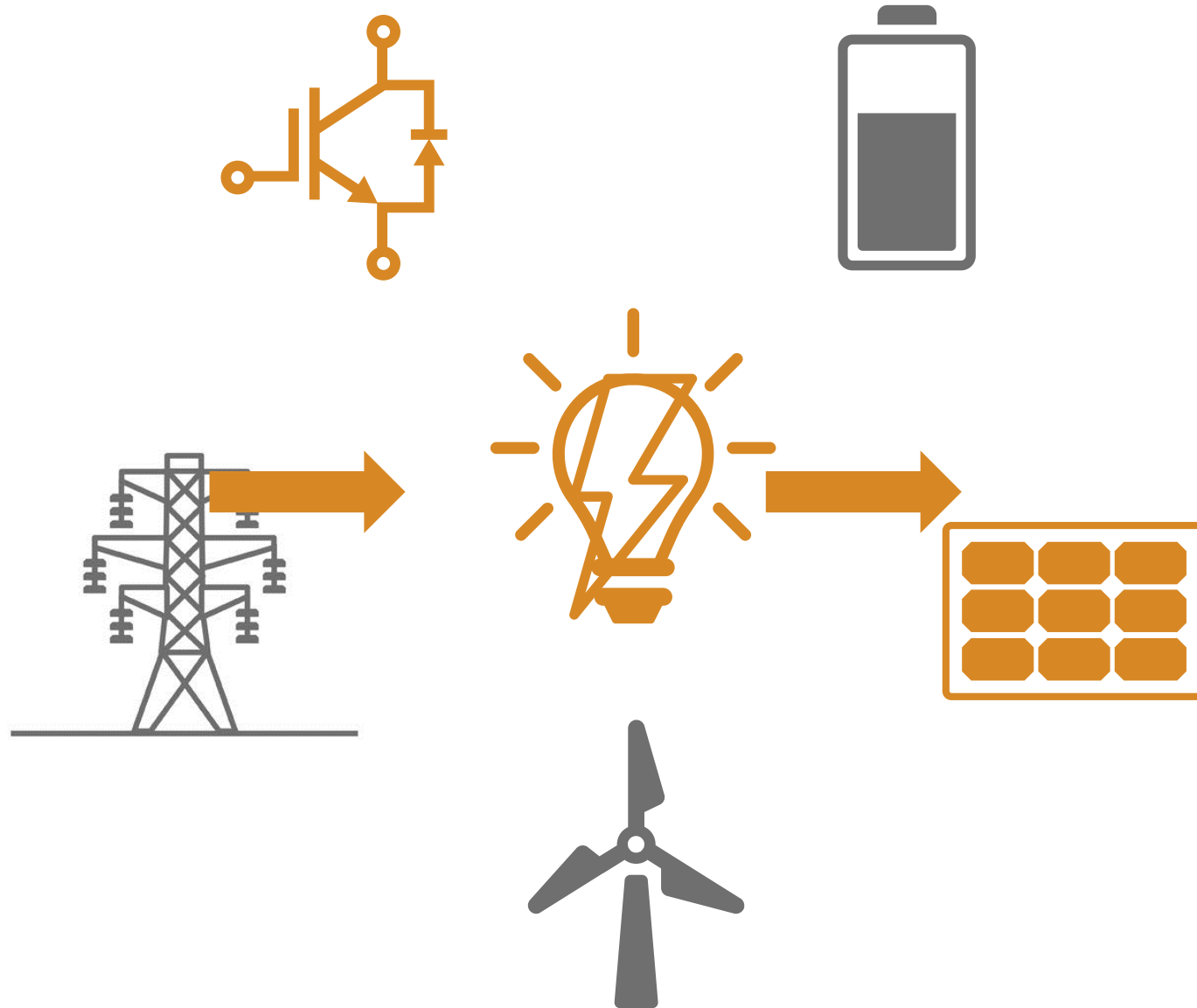
2. 将模型转换成 HDL 代码
 - 设置模型运行生成HDL代码
 - 使用 Simscape to HDL Advisor

3. 将二进制文件固化到实时目标机
 - Bitstream 是 FPGA 二进制文件
 - 与运行在CPU上的Simulink结合

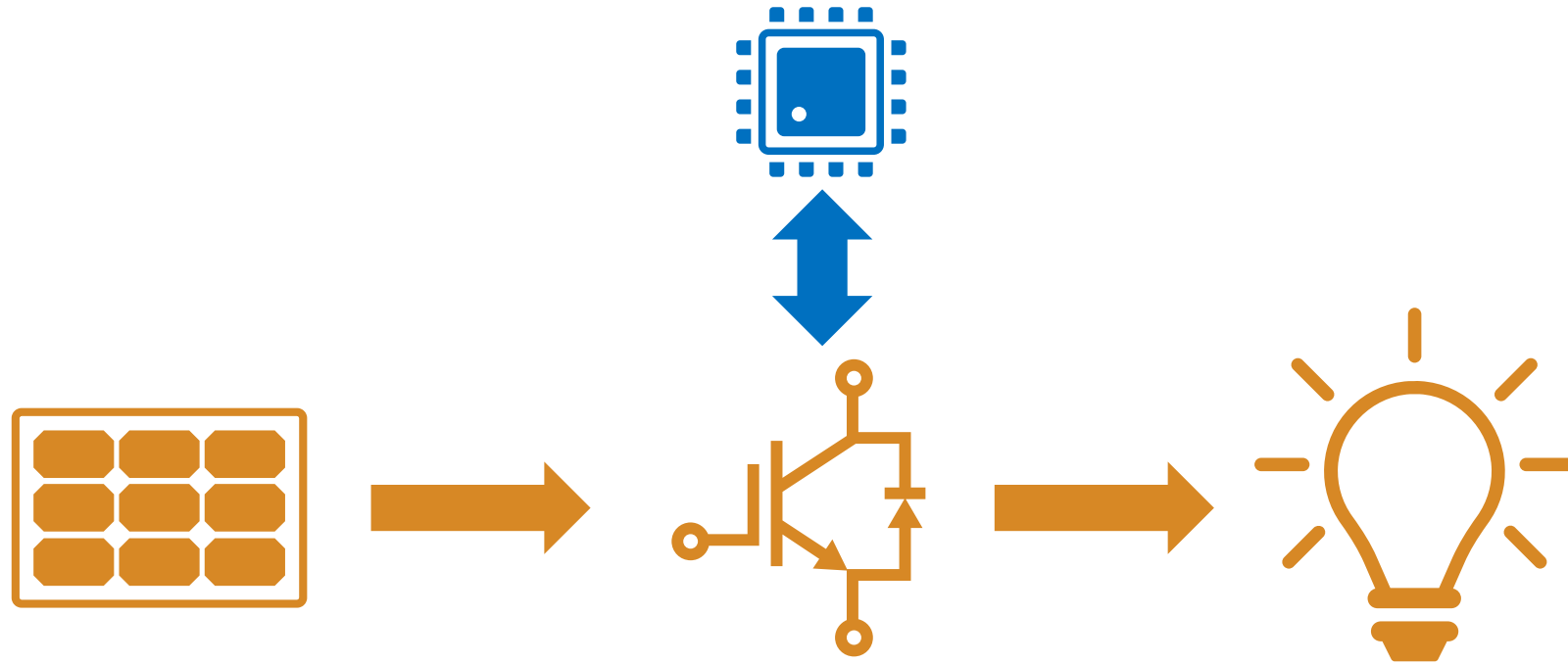
MathWorks 提供的电力电子应用



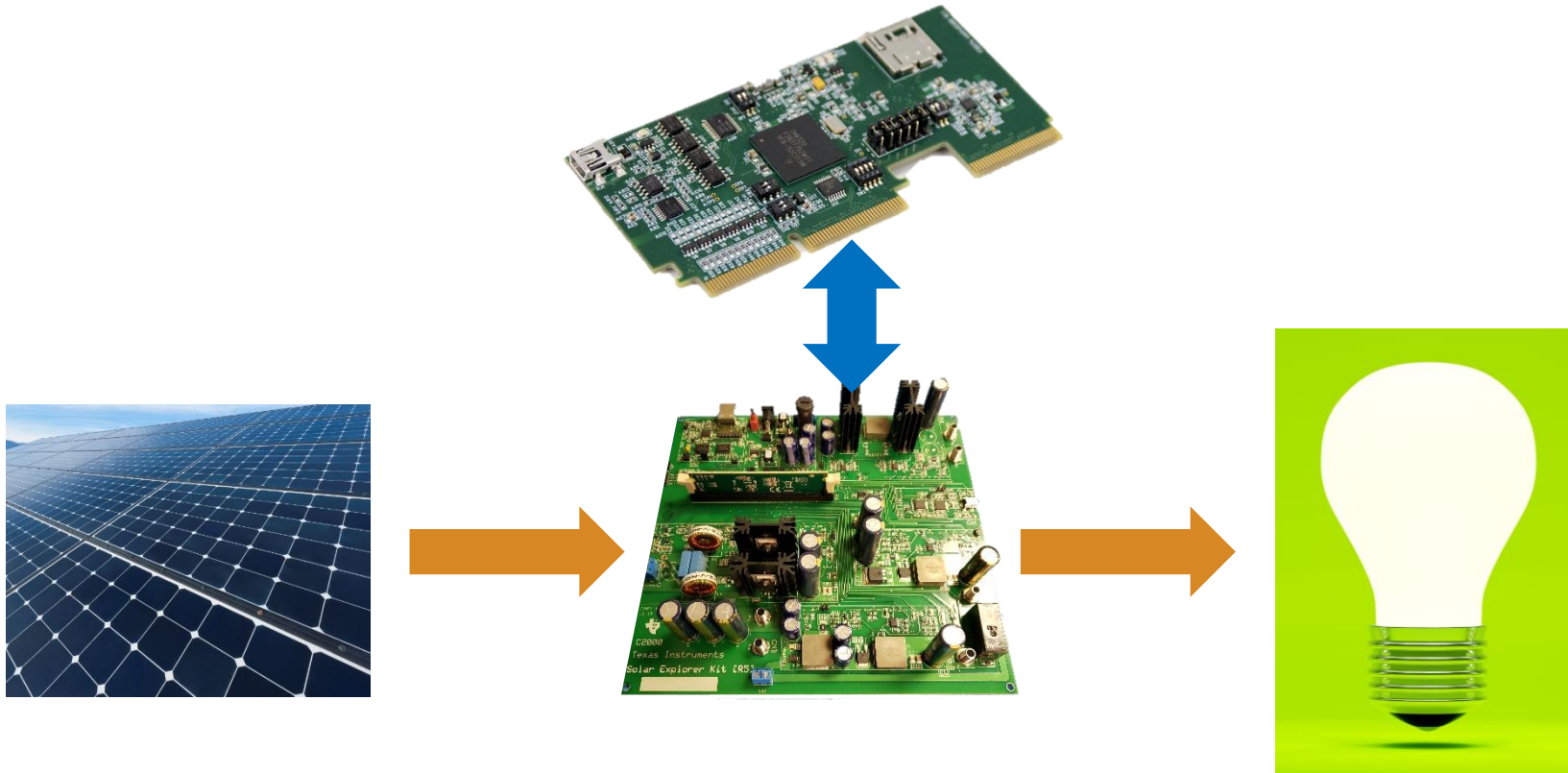
光伏逆变器的实时测试



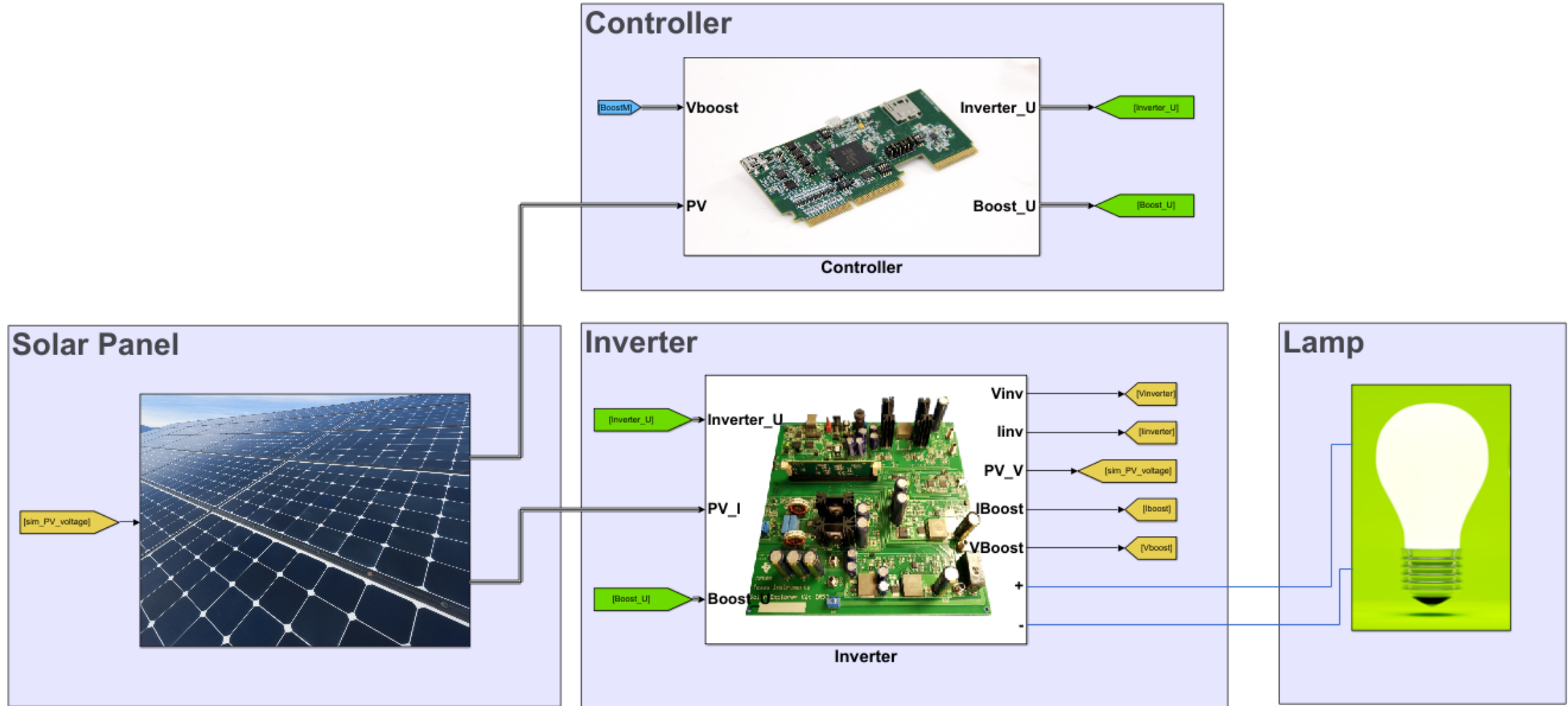
光伏逆变器的实时测试



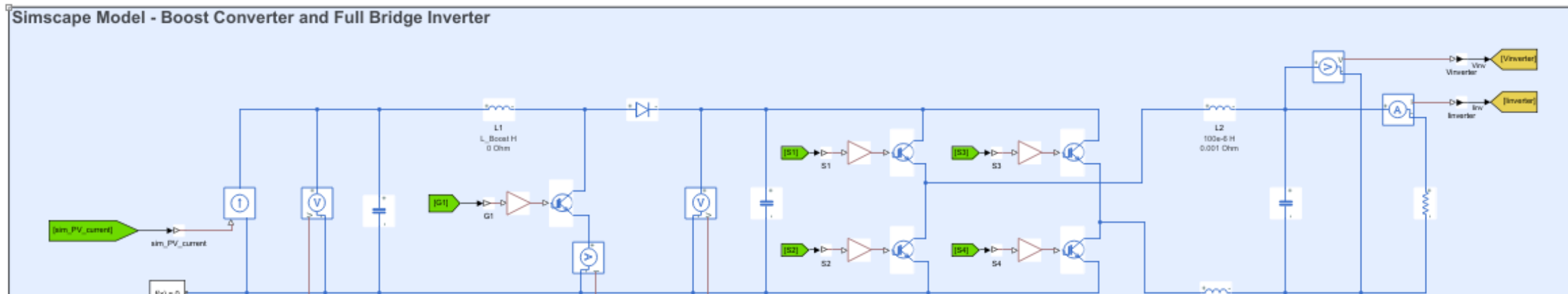
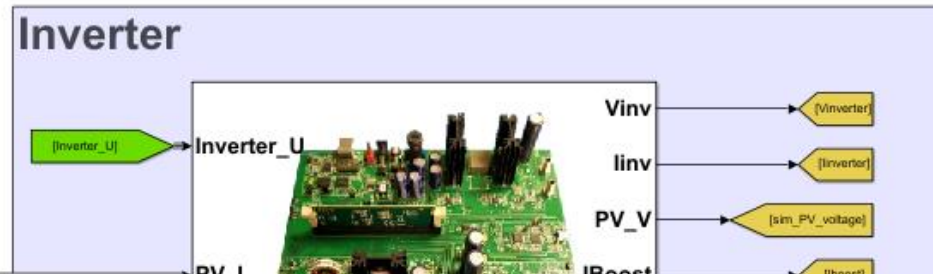
光伏逆变器的实时测试



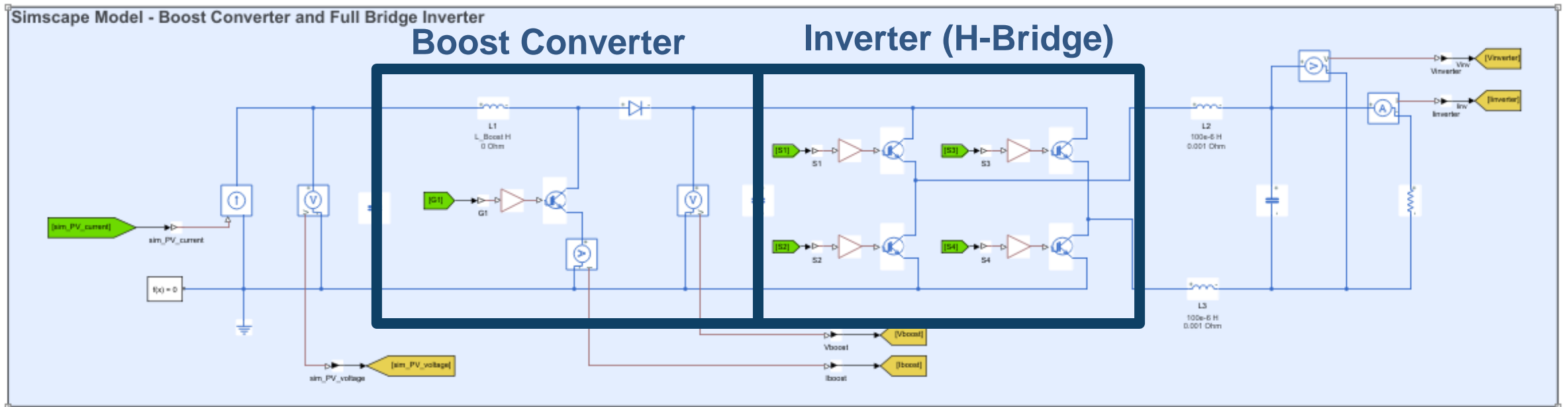
Step 1: 建立模型 (Desktop Simulation)



逆变器 and Boost 变换器



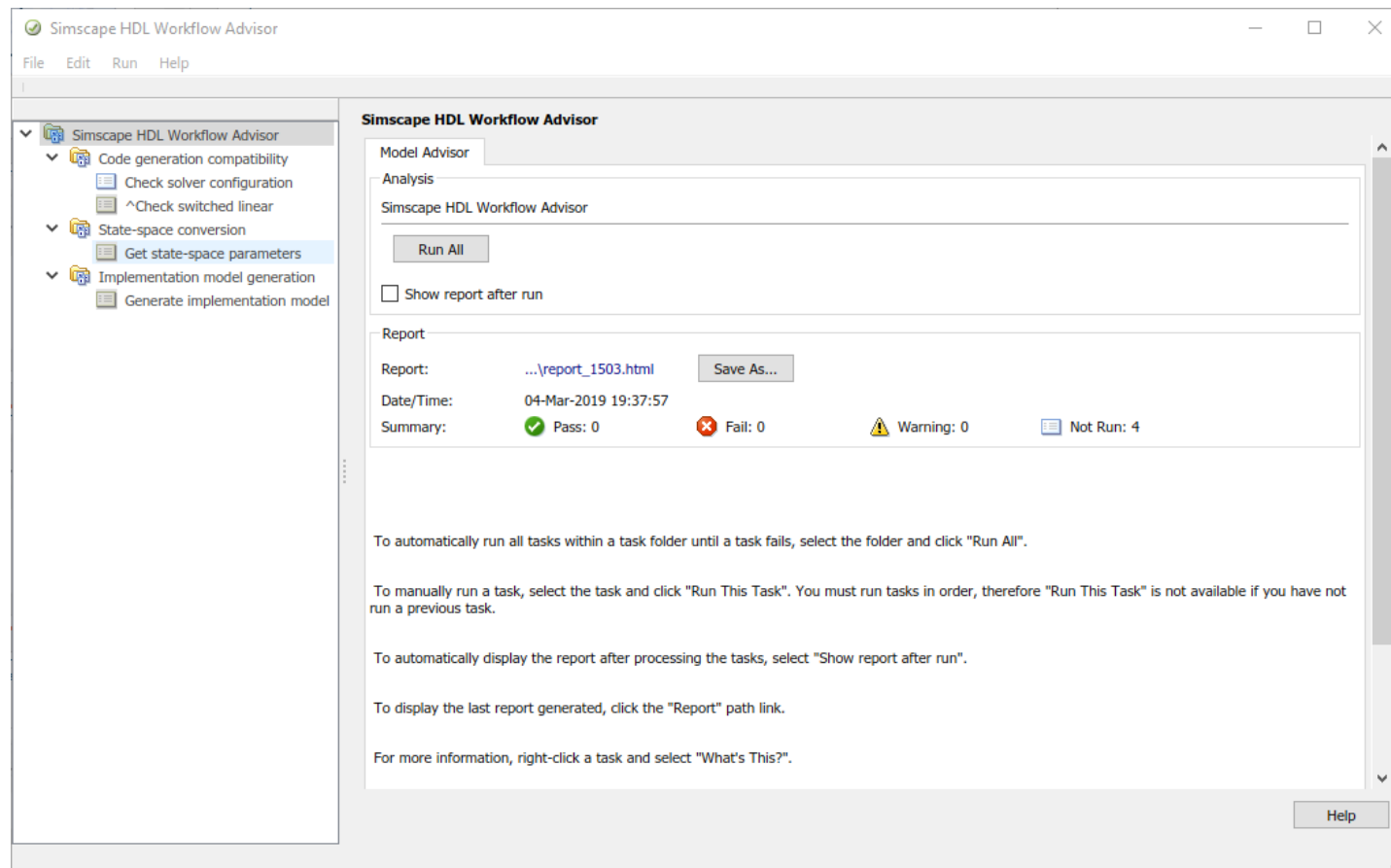
逆变器和Boost变换器



将模型从连续模型变成离散模型

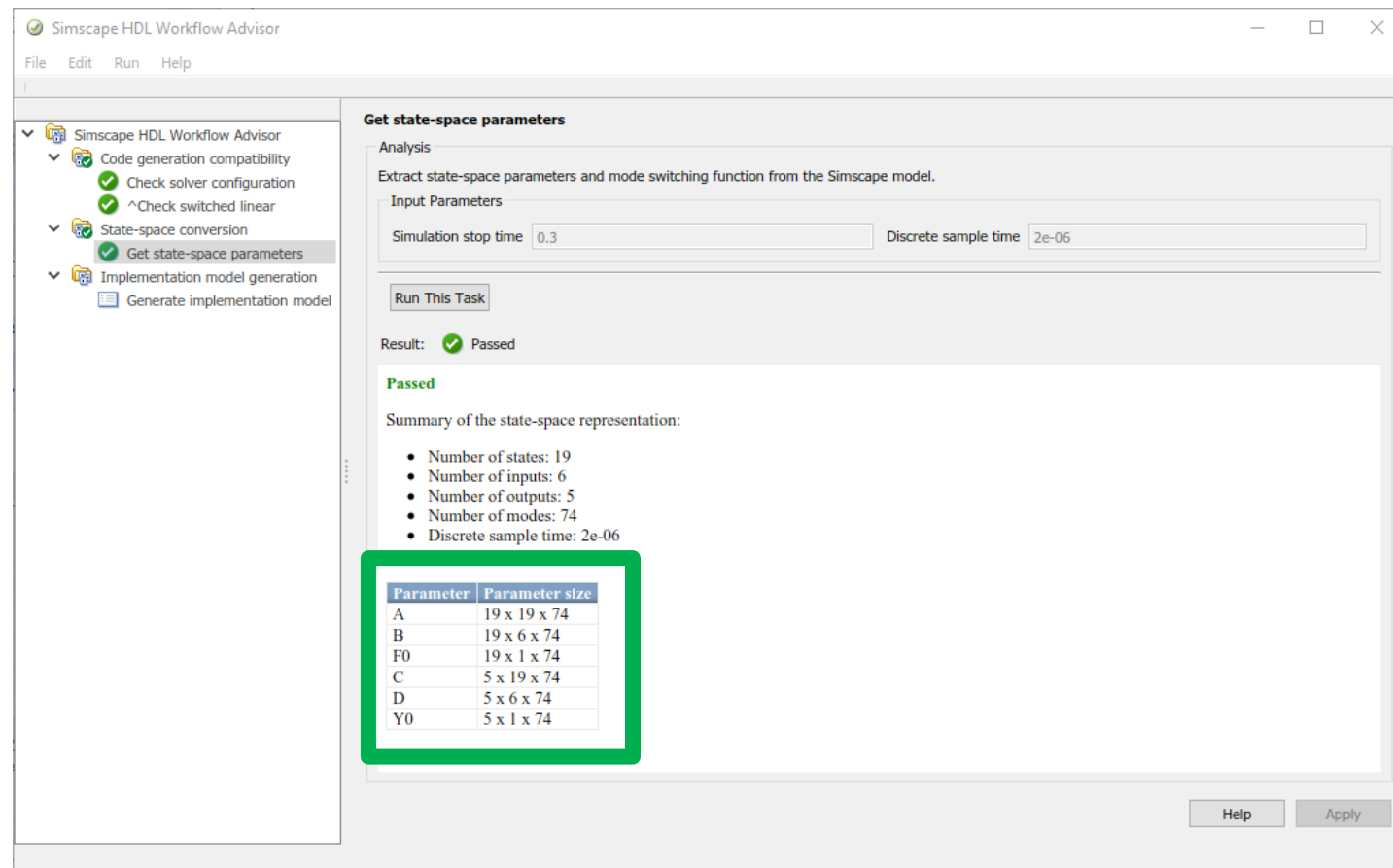
HDL代码生成: Simscape HDL Workflow Advisor 新功能 2018b

- 运行 'sschdladvisor'



导出状态方程参数 (线性化系统)

- 将Simscape模型转成状态方程



Simscape HDL Workflow Advisor

File Edit Run Help

Get state-space parameters

Analysis

Extract state-space parameters and mode switching function from the Simscape model.

Input Parameters

Simulation stop time: 0.3 Discrete sample time: 2e-06

Run This Task

Result: ✔ Passed

Passed

Summary of the state-space representation:

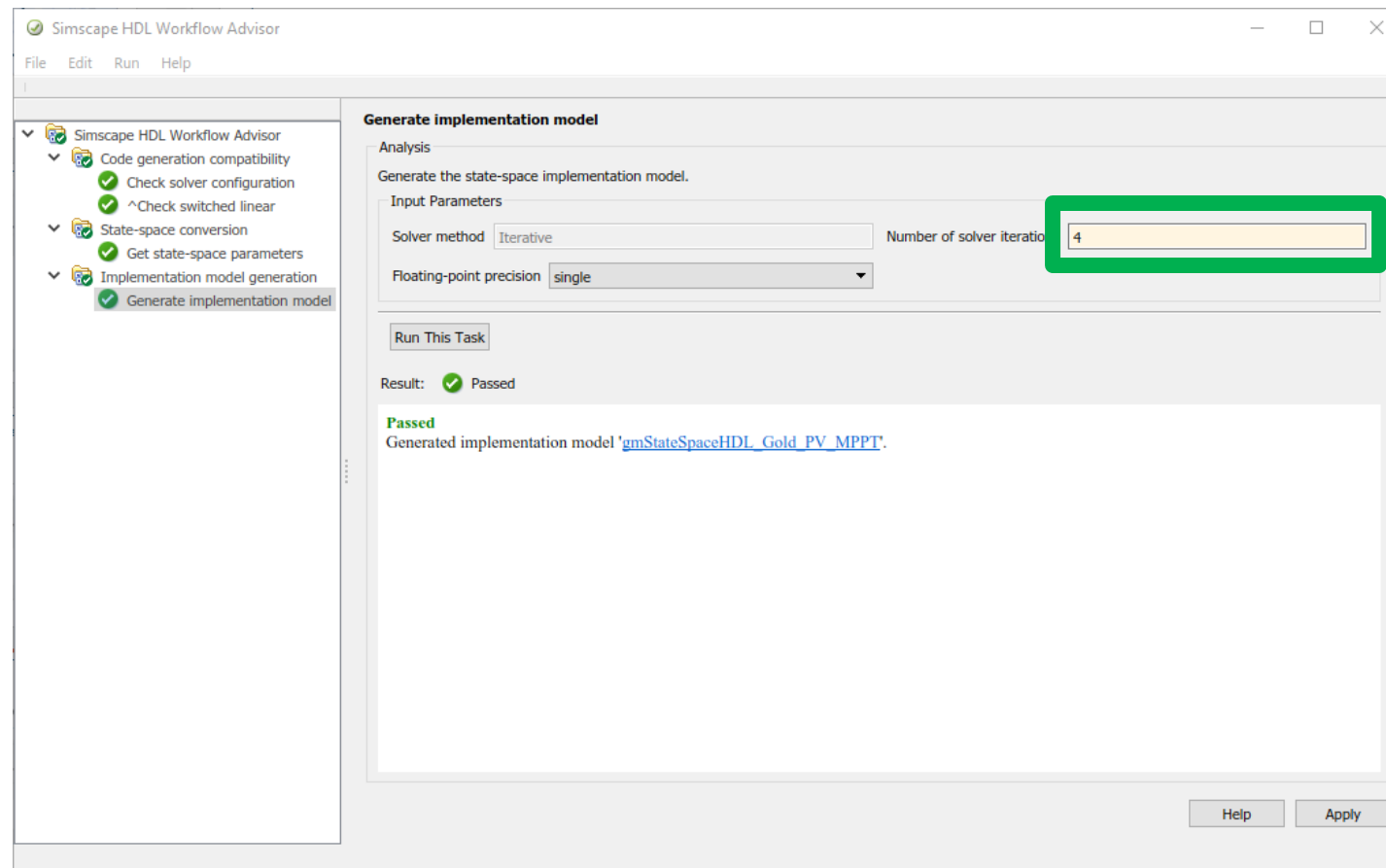
- Number of states: 19
- Number of inputs: 6
- Number of outputs: 5
- Number of modes: 74
- Discrete sample time: 2e-06

Parameter	Parameter size
A	19 x 19 x 74
B	19 x 6 x 74
F0	19 x 1 x 74
C	5 x 19 x 74
D	5 x 6 x 74
Y0	5 x 1 x 74

Help Apply

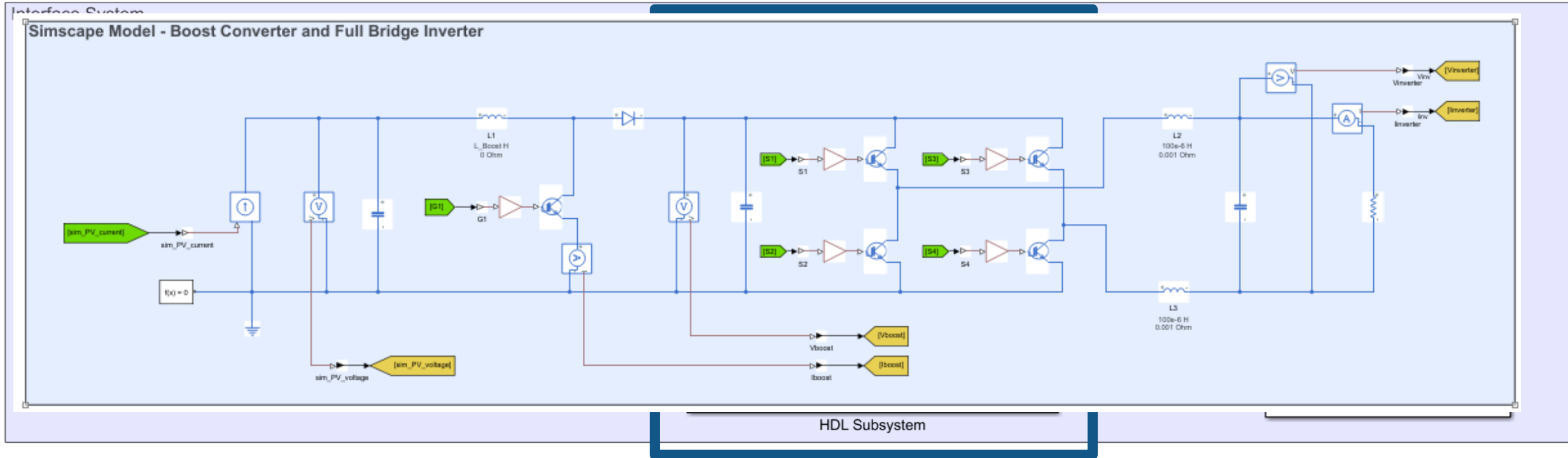
Simscape HDL Workflow Advisor

- 设置Solver迭代次数 (建议值 3-5)

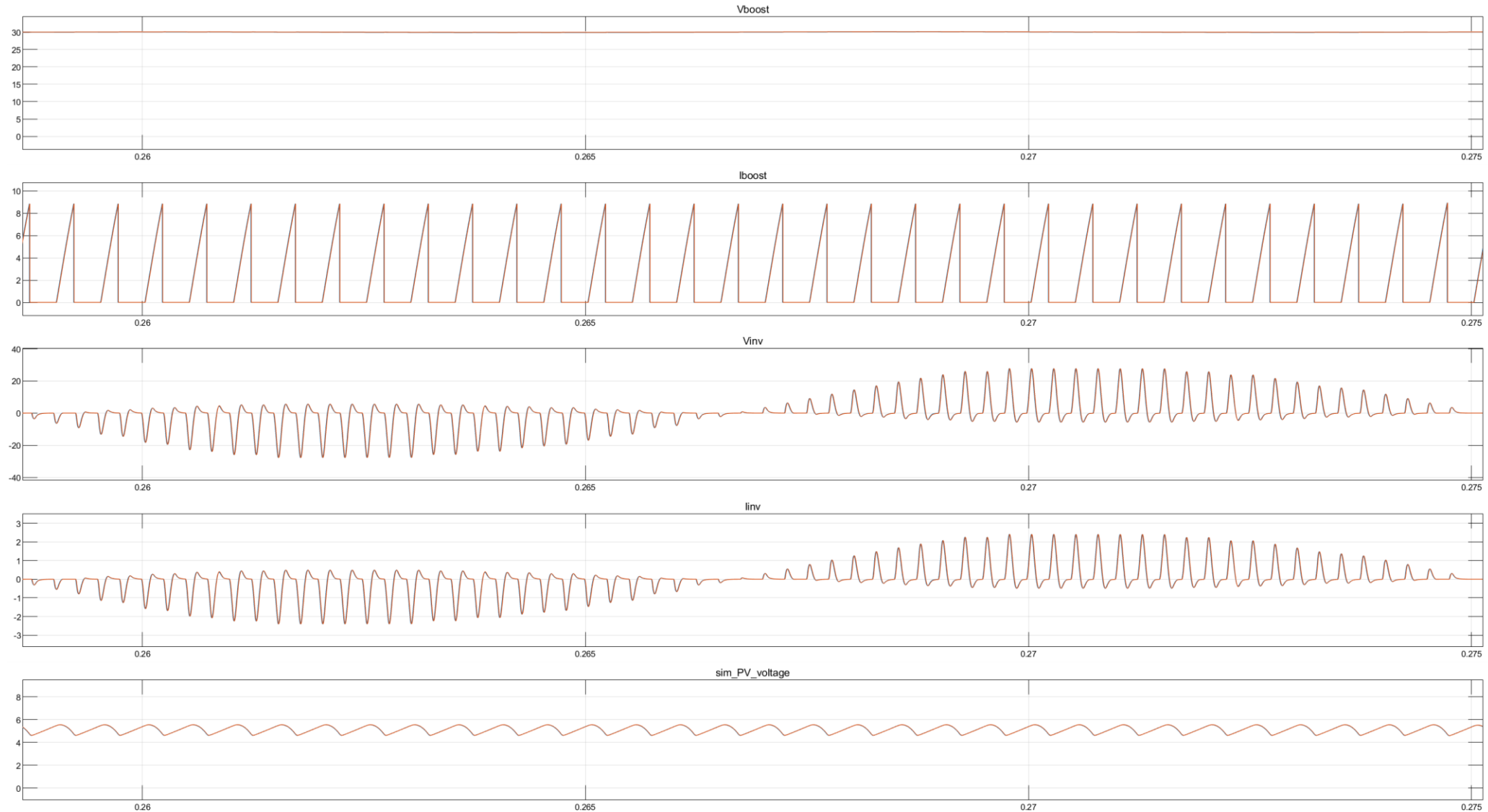


用于生成代码的模型

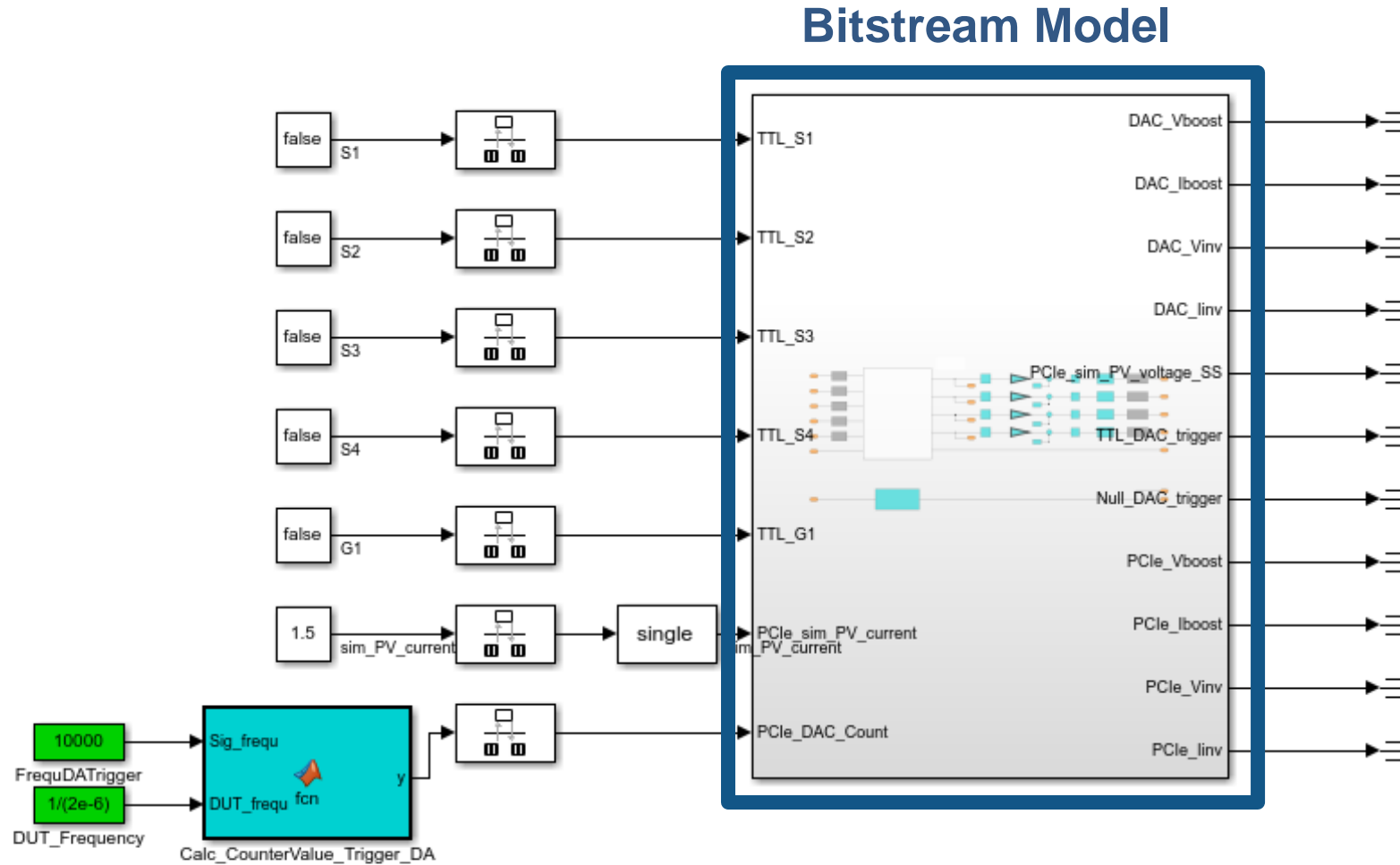
状态方程替换Simscape



状态方程模型与Simscape模型一致性比较



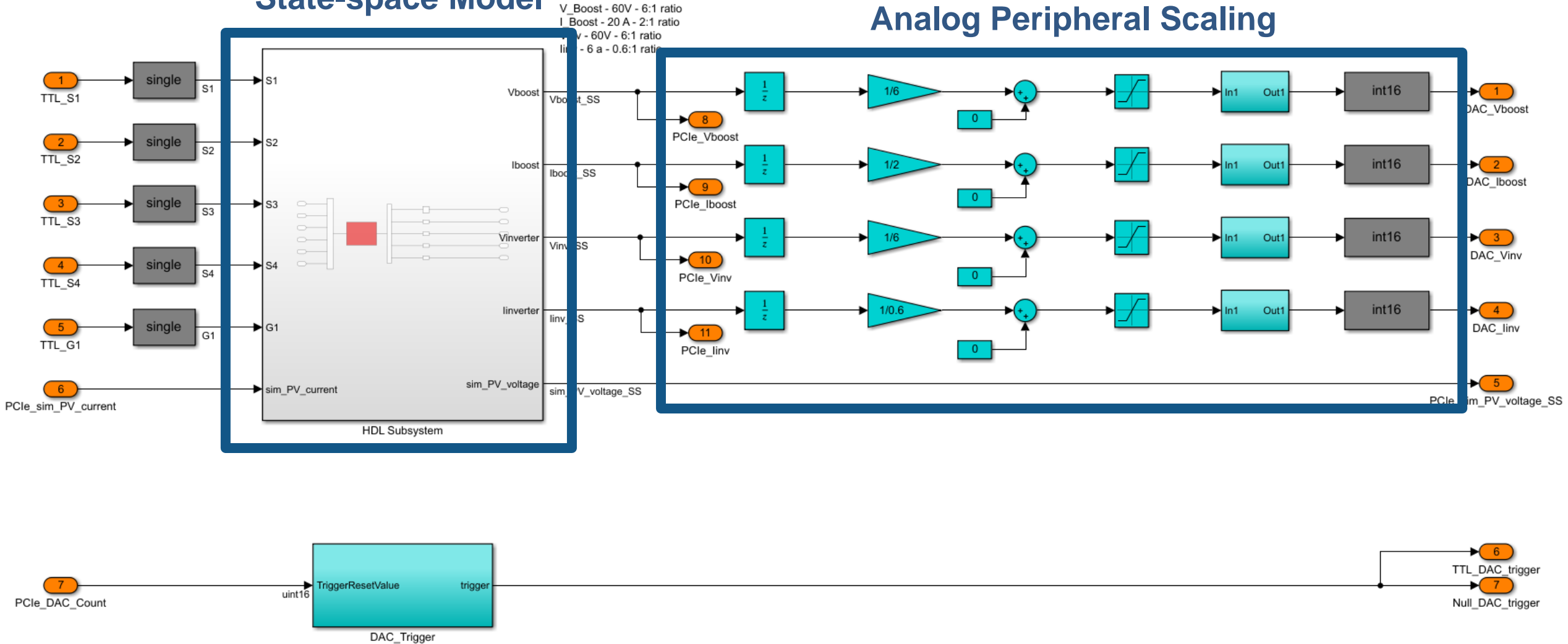
从状态方程模型生成FPGA文件



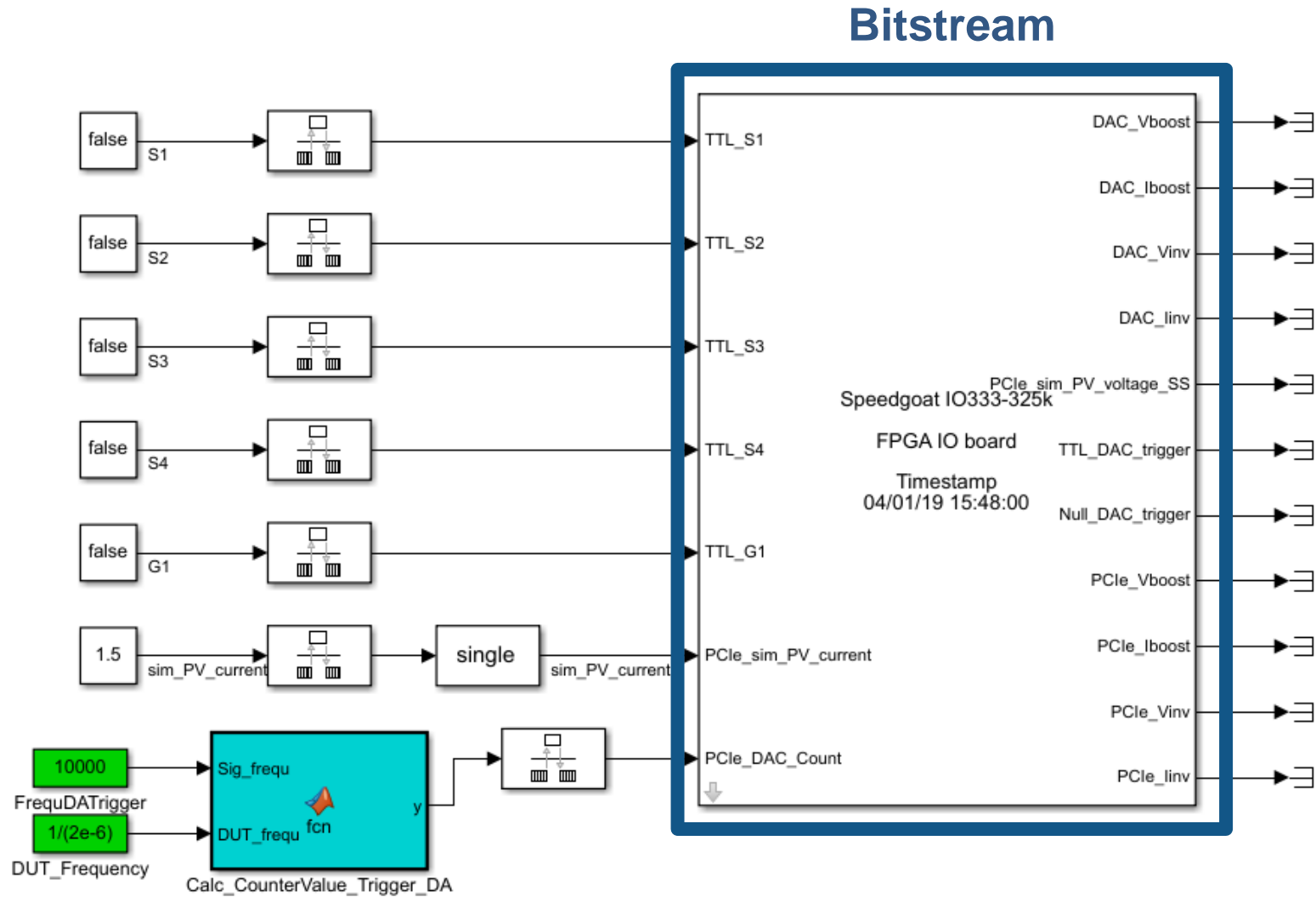
添加硬件接口模型

State-space Model

Analog Peripheral Scaling



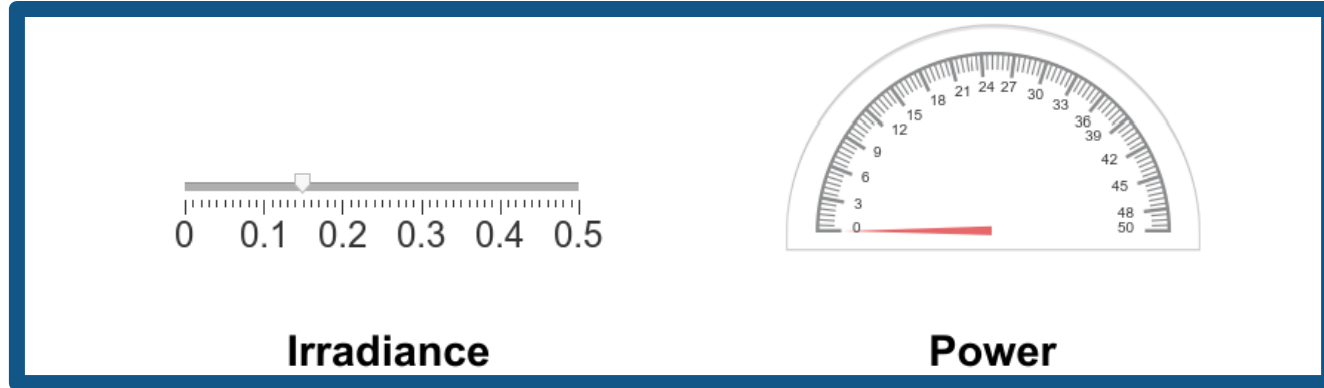
创建用于FPGA二进制文件



Generated by HDL Workflow Advisor on 04-Jan-2019 15:56:21

联合其他Simulink模型

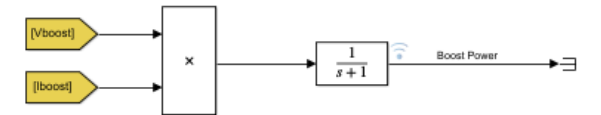
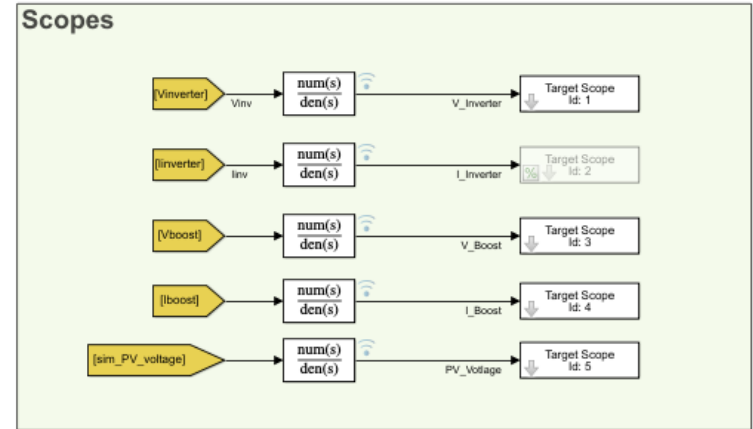
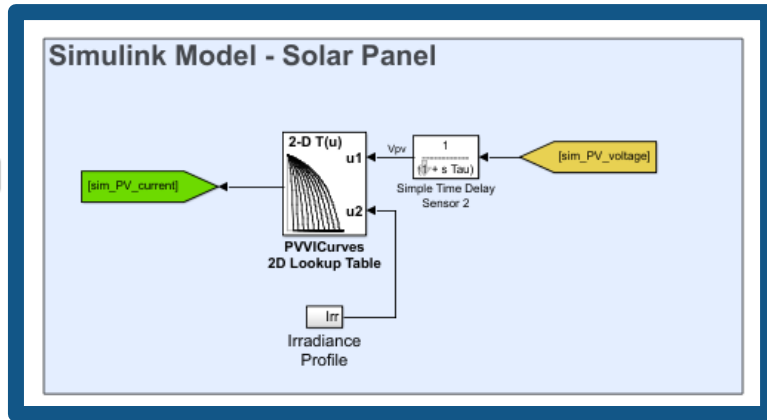
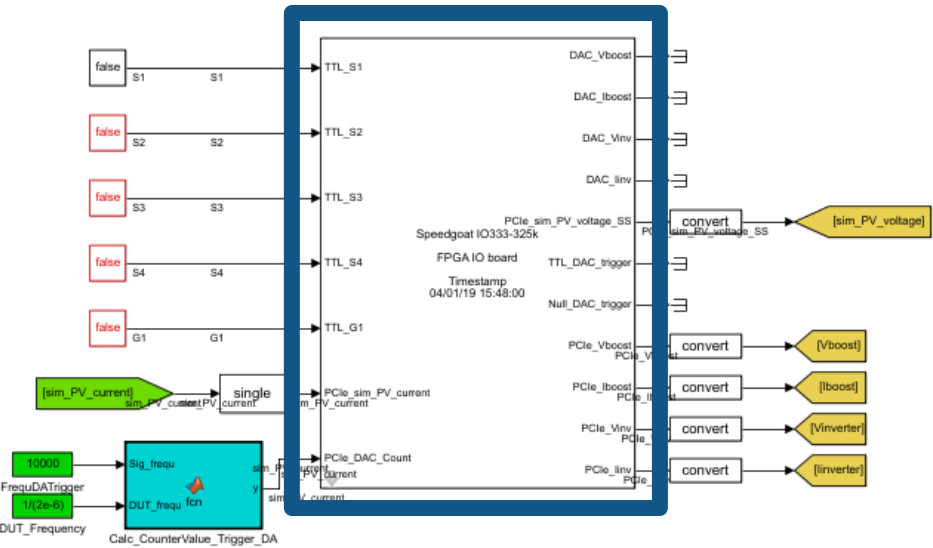
Dashboard Real-time Interface



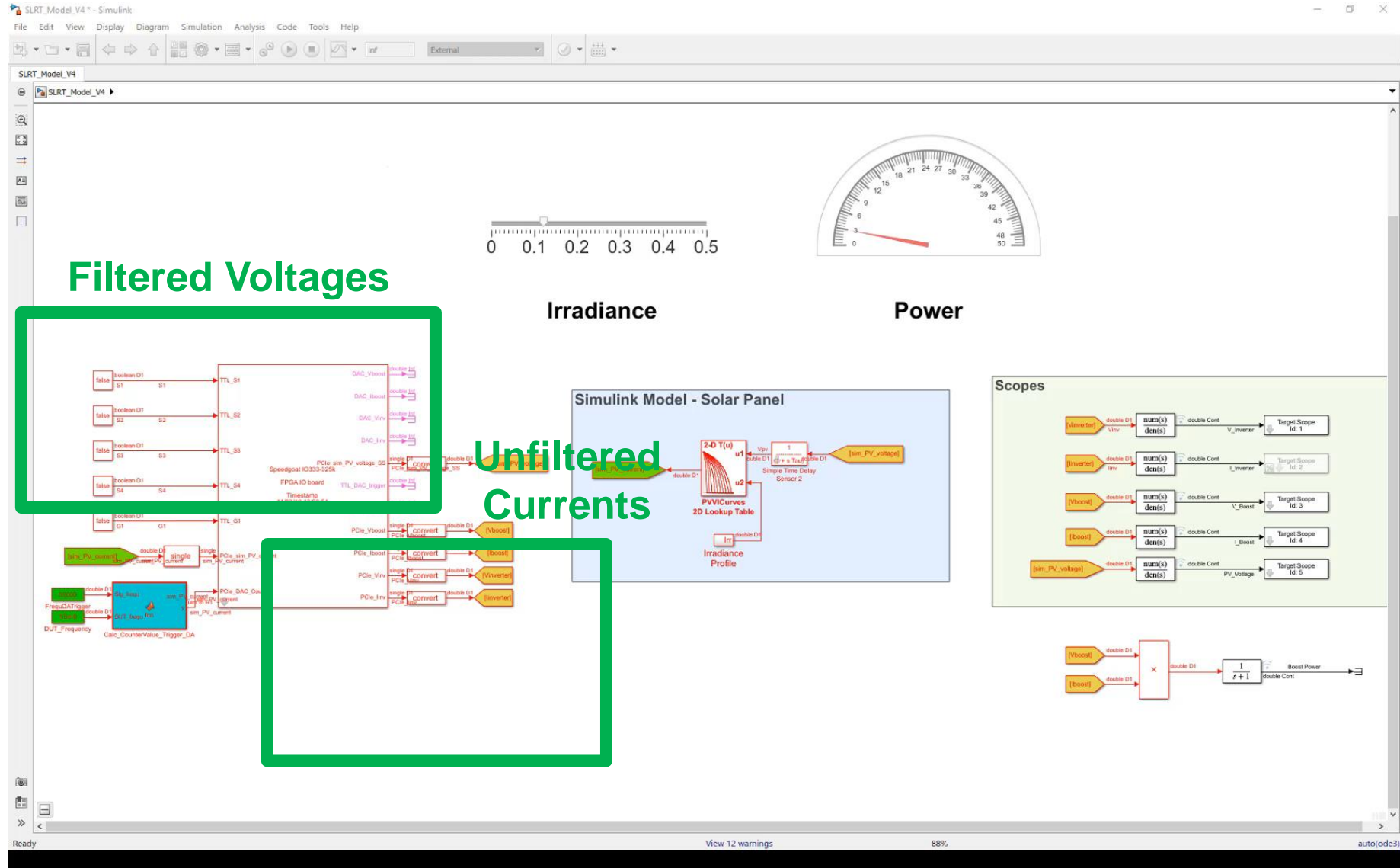
Bitstream

CPU Based Model

Scopes



示例

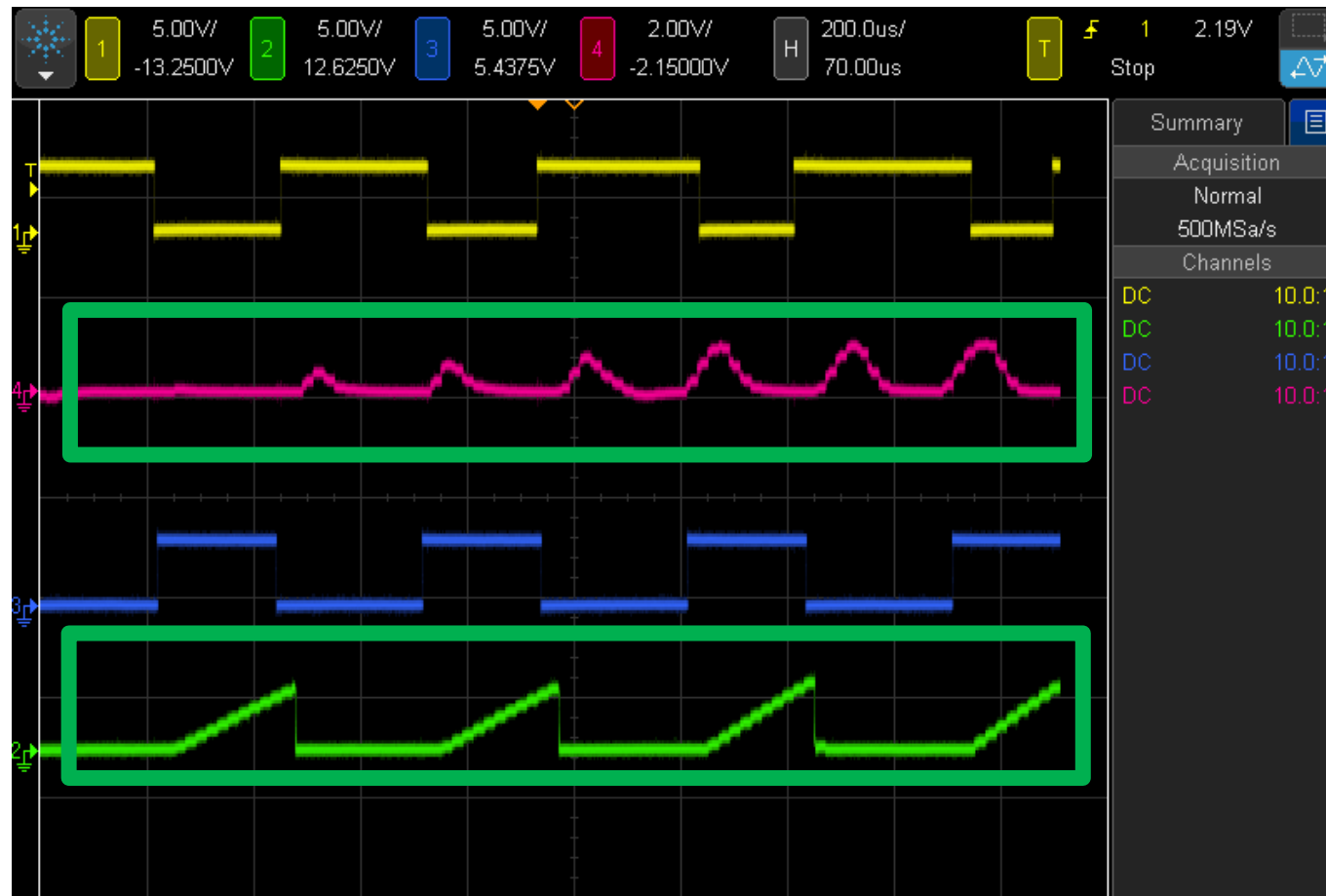


示波器

FPGA captures the switching transients

Inverter Current
(LC Filter)

Boost Current
(DC Cap)



示例配置

- 控制器 – TI C2000
- 实时系统 – Speedgoat Baseline-M
 - IO333 06-21 Kintex 7, 325k FPGA card expansion

2018b 能力 - Kintex 7 325K

- 开关线性系统生成HDL代码(分段线性)
 - 支持多域物理系统
 - 可以和Simulink构建的电机模型结合
- 能实现2-6个开关器件的变流器
 - 具备多变流器扩展能力
- 典型系统步长能达到 2 to 5 us
 - 简单系统可实现小于 1 us 的步长

结论

- 实时仿真能极大地改进嵌入式控制设计
- FPGA 在电力电子实时仿真中非常关键
- 嵌入式控制设计和实时测试能在同一个环境中实现...

Simulink!