MATLAB EXPO

大规模物理系统模型并行仿真加速

周前程， MathWorks

MathWorks®

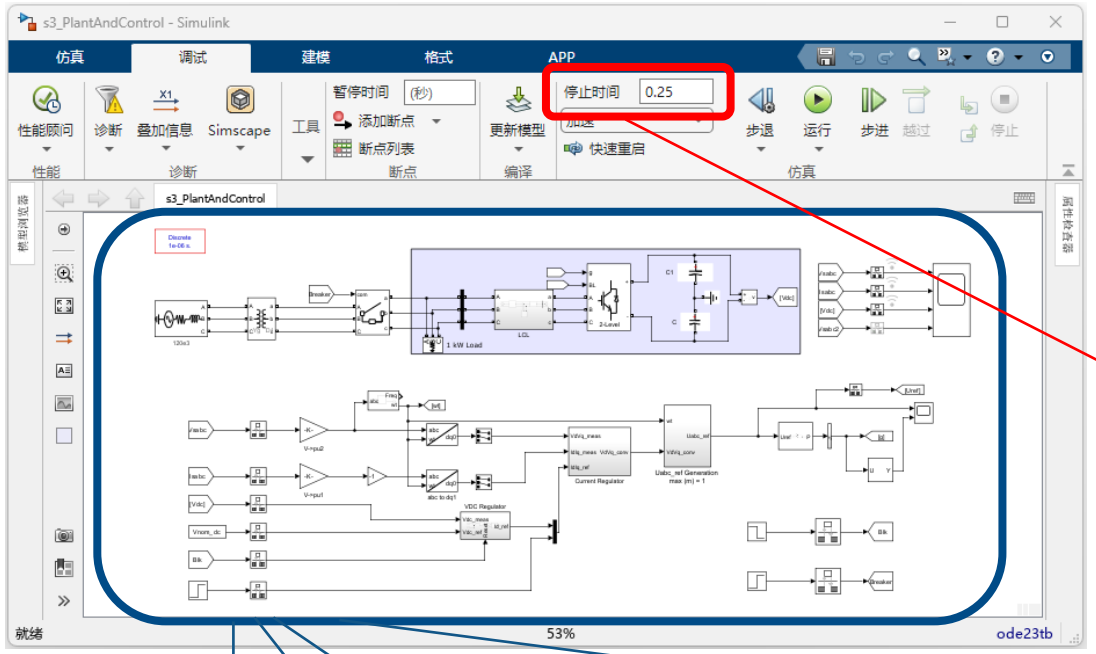
你在用……吗？

- Simulink ？
- Simscape ？
- 你有遇到仿真速度问题吗 ？
- 遇到速度问题怎么办 ？

Key Take Away

- 影响仿真速度相关的因素
- 仿真速度优化方法
- 加速模式的使用
- 模型解耦降低物理模型复杂度
- 利用多核 CPU 加速仿真

影响仿真速度相关的因素



- 仿真时长/仿真步长 – 迭代次数
- 模型规模 – 每个时间步耗费时间
- 仿真模式 – 代码加速
- 模型编译
- 硬件资源

模型复杂度

迭代次数

步长大小

定步长

变步长

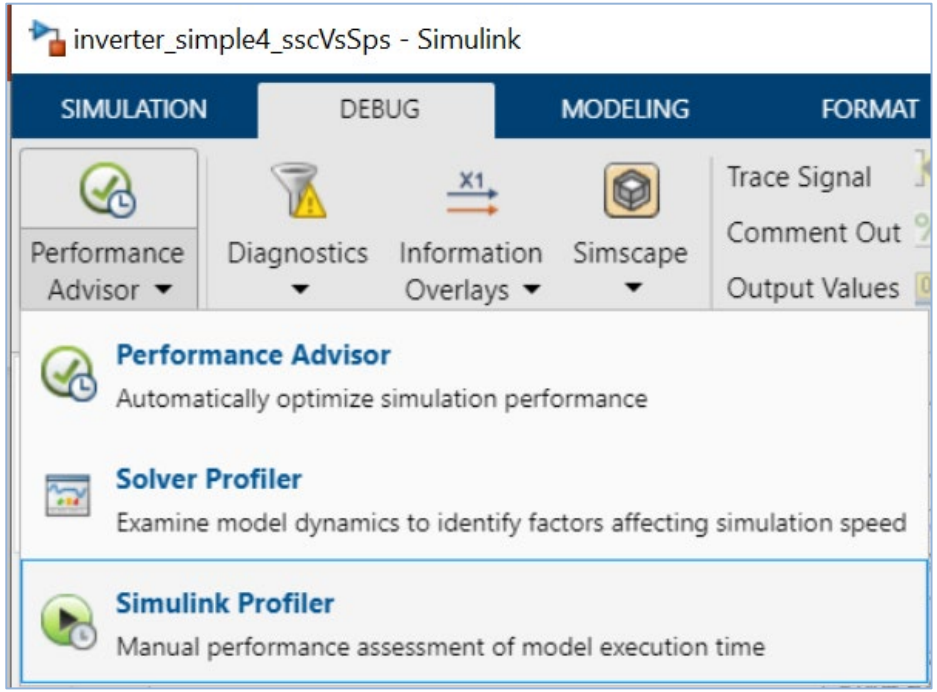
0s

0.25s

仿真速度优化 – 诊断工具

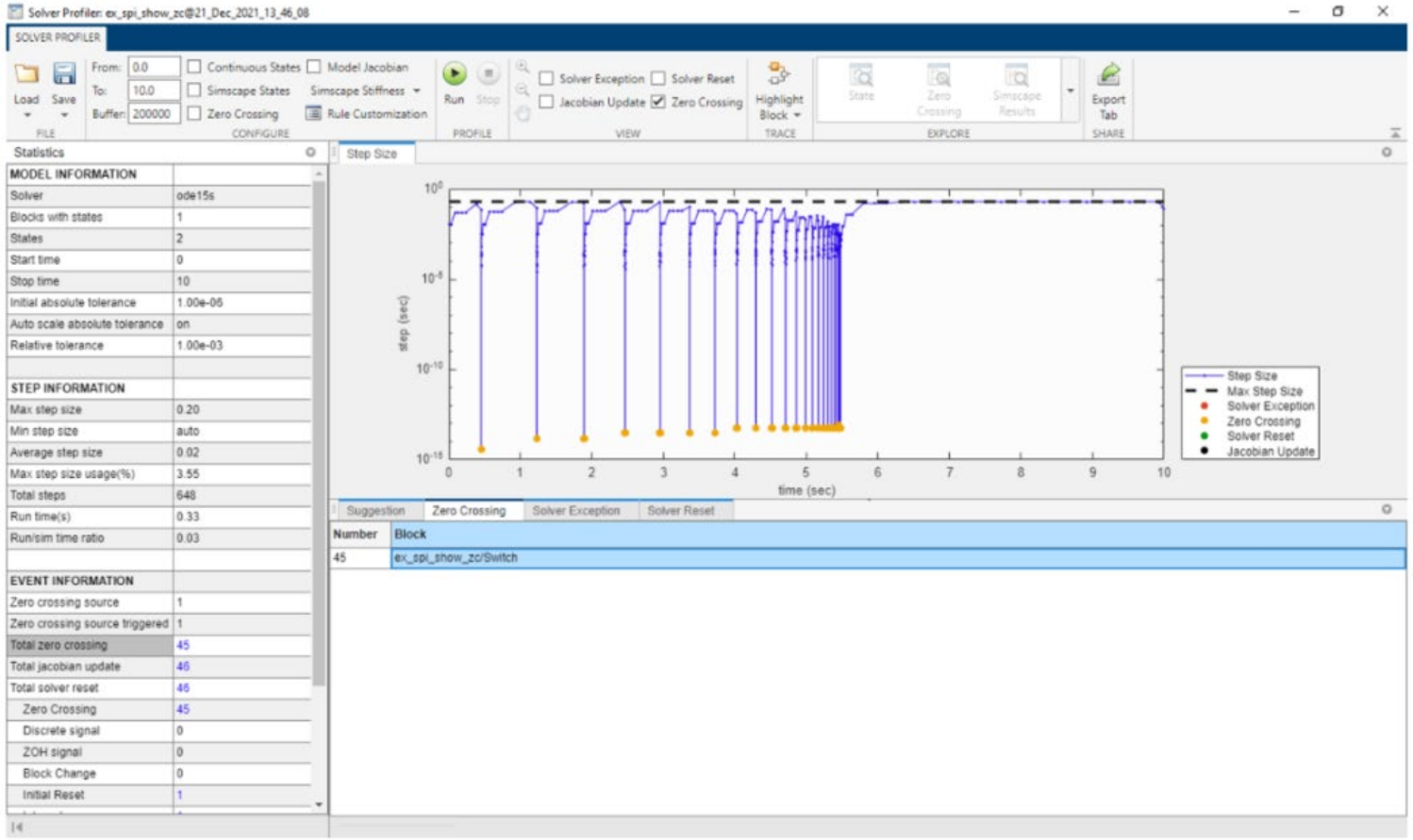
量化模型仿真时间，识别瓶颈

- Solver Profiler
- Simulink Profiler
- Performance advisor



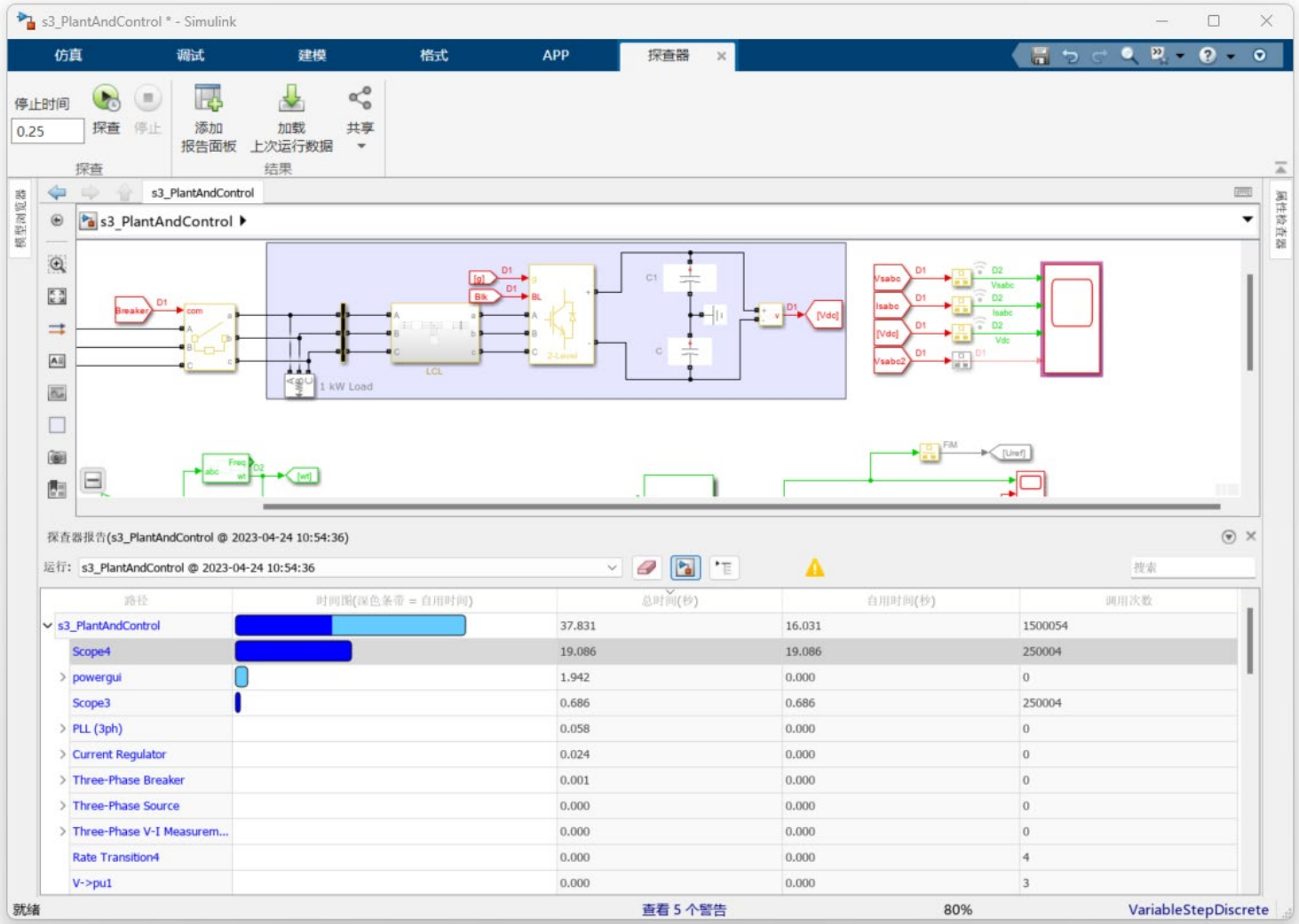
仿真速度优化 – 诊断工具
Solver Profiler

- 步长统计
- 检测事件
  - Zero-crossing events
  - Solver exception events
  - Solver reset events
  - Jacobian computation events



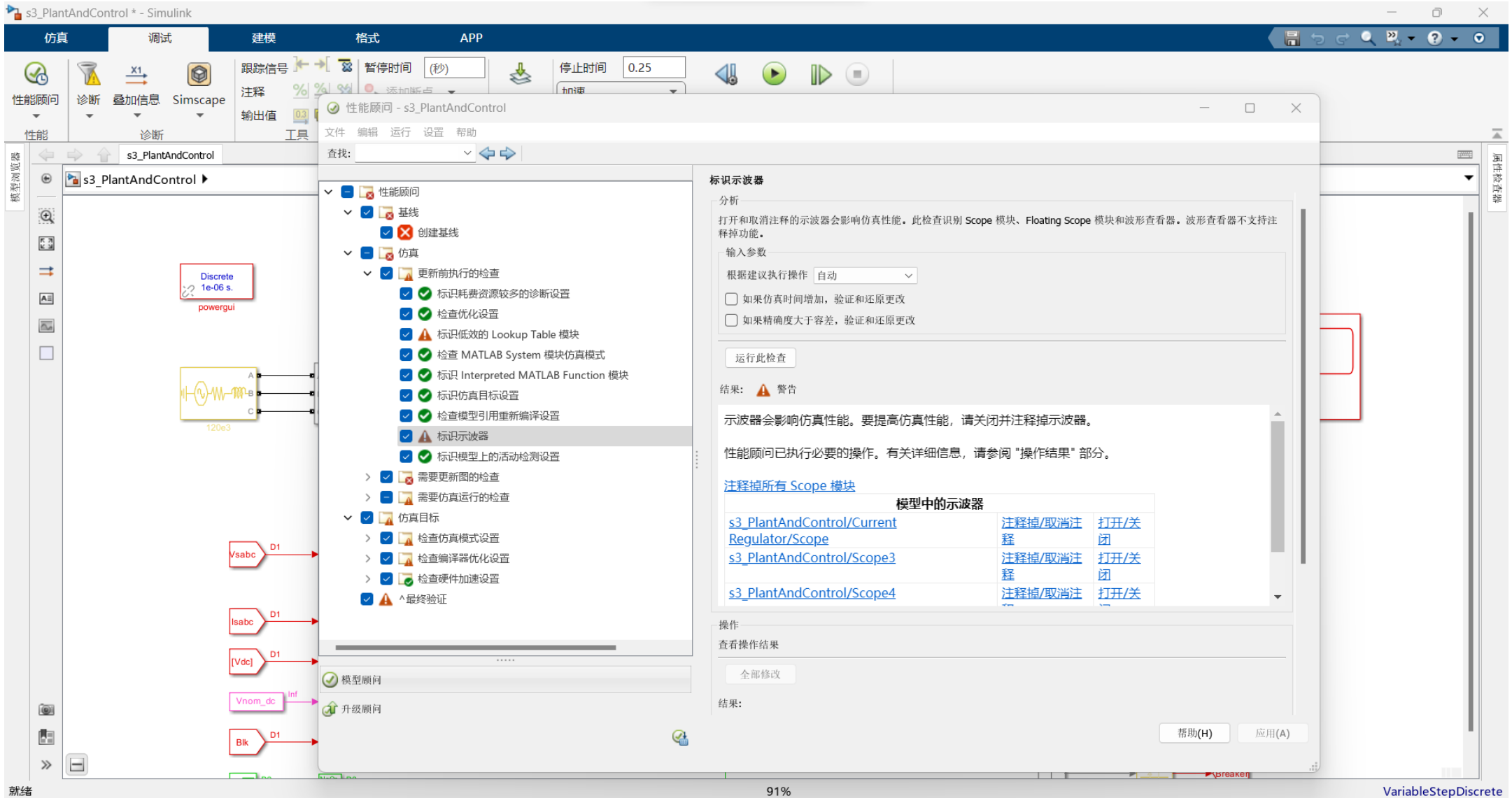
仿真速度优化 – 诊断工具
Simulink Profiler

- 统计模块仿真耗时
- 调用频次

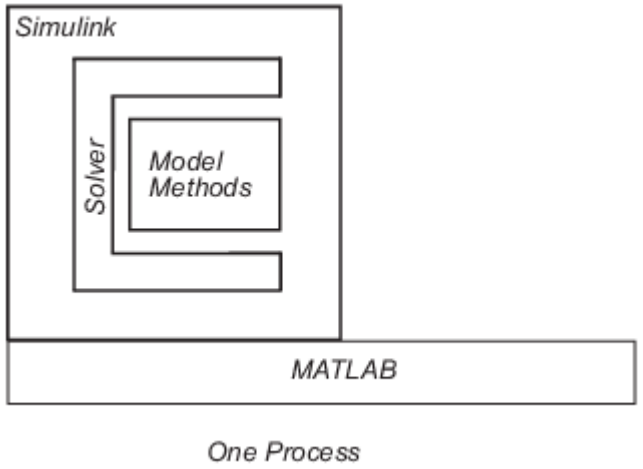


仿真速度优化 – 诊断工具

Performance Advisor

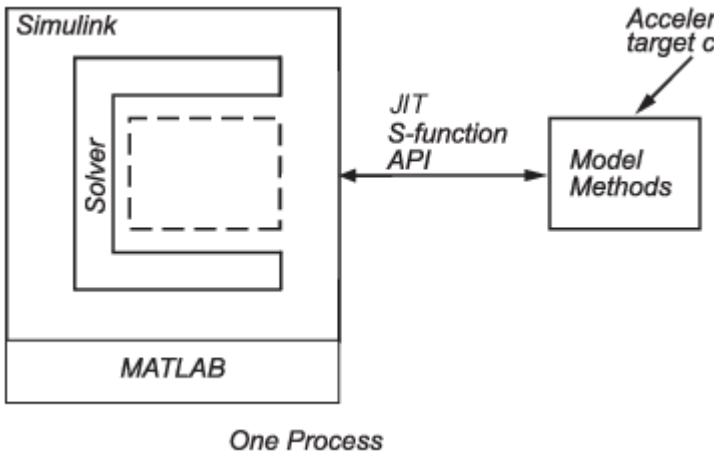


仿真模式

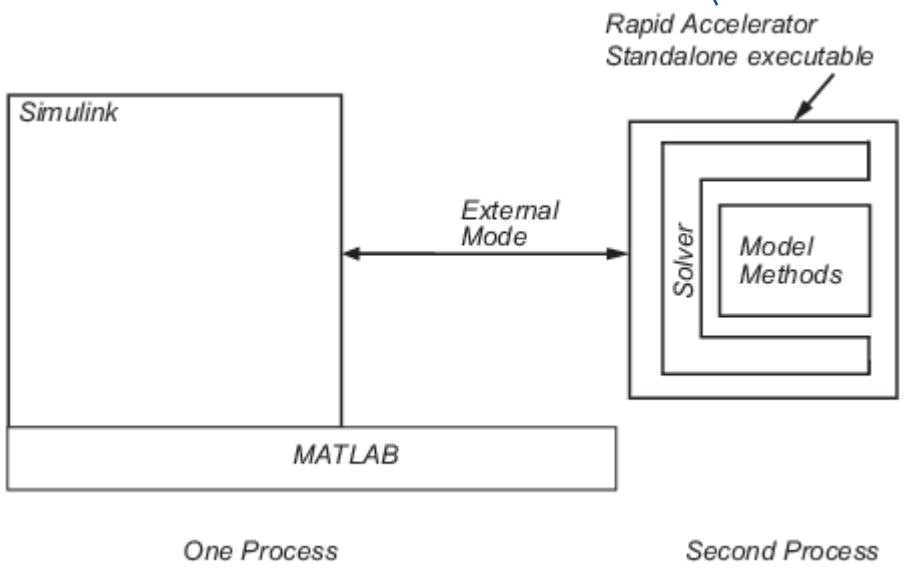


Normal – 普通

将模型生成代码并编译



Accelerator – 加速

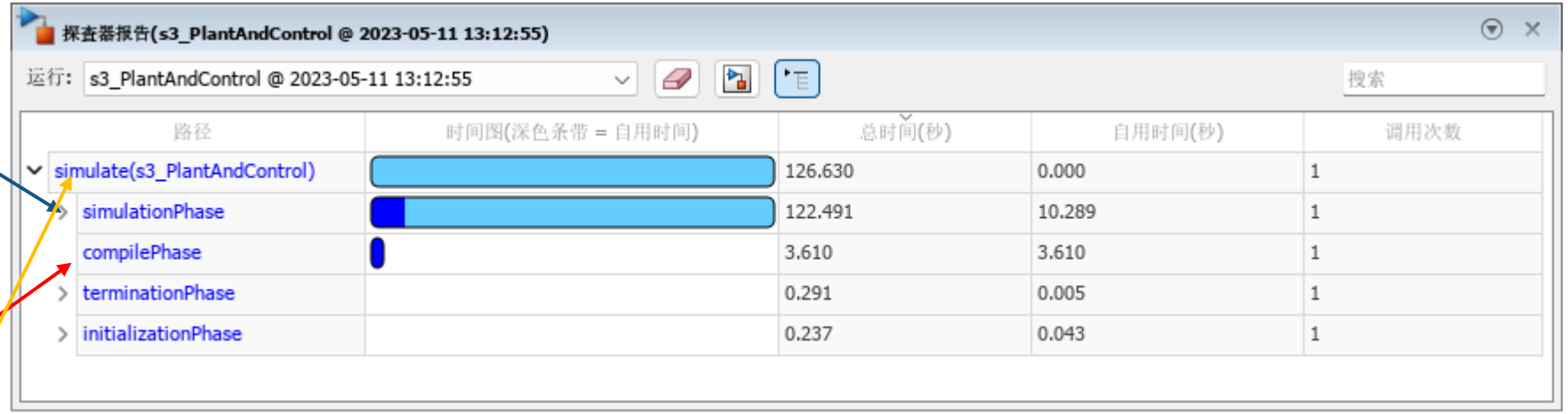


Rapid Accelerator – 快速加速

仿真模式

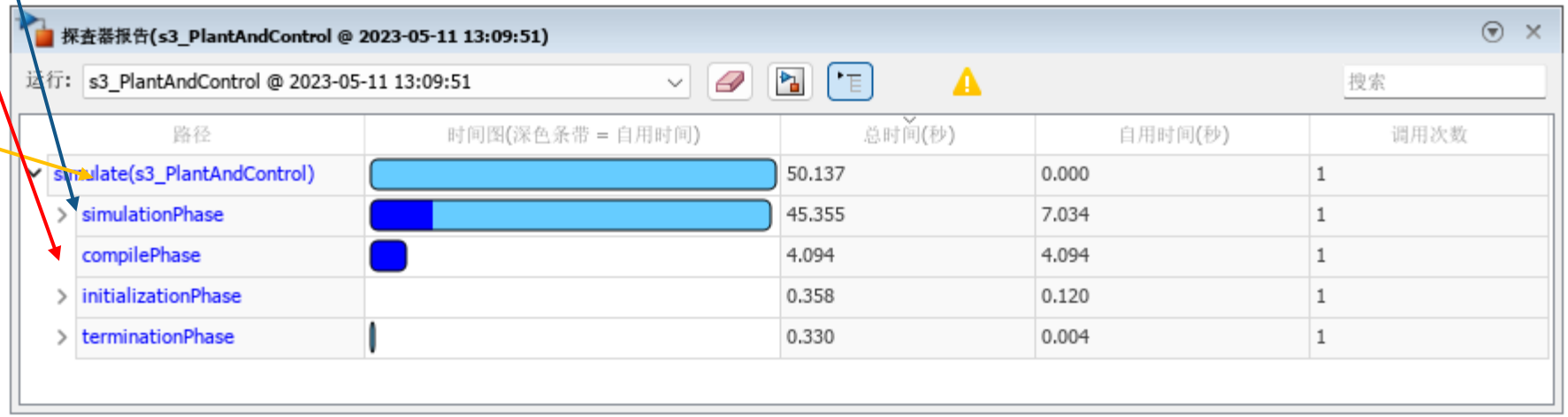
- 仿真时间缩短
- 编译时间增加
- 总时间缩短

普通模式



路径	时间图(深色条带 = 自用时间)	总时间(秒)	自用时间(秒)	调用次数
simulate(s3_PlantAndControl)		126.630	0.000	1
simulationPhase		122.491	10.289	1
compilePhase		3.610	3.610	1
terminationPhase		0.291	0.005	1
initializationPhase		0.237	0.043	1

加速模式



路径	时间图(深色条带 = 自用时间)	总时间(秒)	自用时间(秒)	调用次数
simulate(s3_PlantAndControl)		50.137	0.000	1
simulationPhase		45.355	7.034	1
compilePhase		4.094	4.094	1
initializationPhase		0.358	0.120	1
terminationPhase		0.330	0.004	1

使用合适的方法对模型仿真速度进行优化

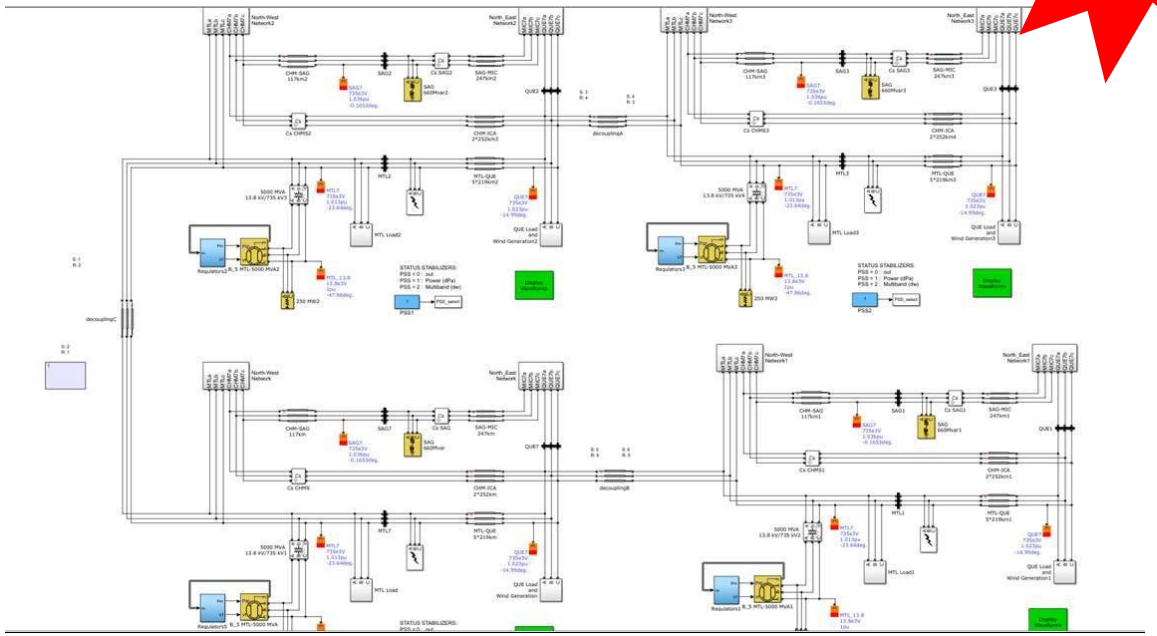
得到“合理”的速度

但是。。。

模型规模持续增加带来新的调整

大电网电磁暂态仿真

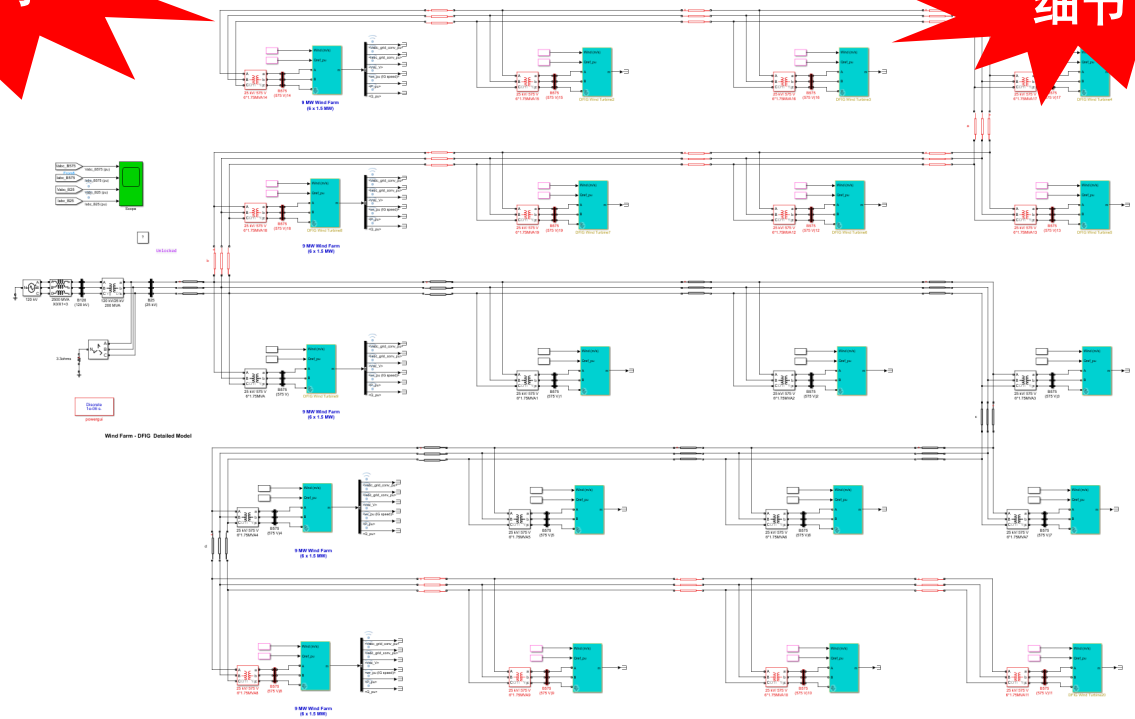
长时间



模型规模 : 4*29 bus system
仿真步长 : 75us
仿真时长 : 4.5s
仿真耗时 : 320s

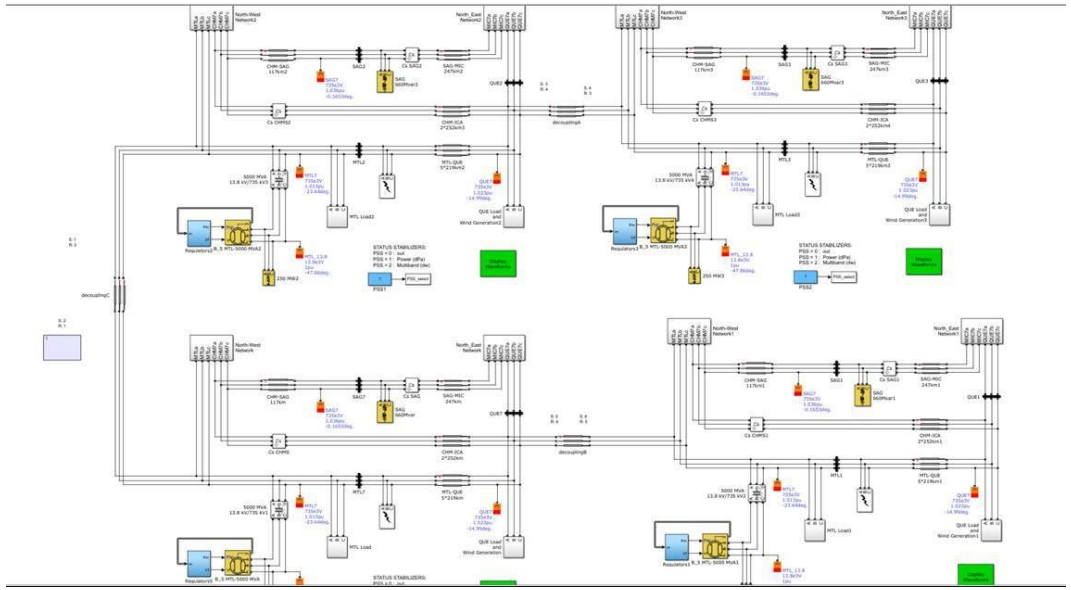
包含开关特性风机构成的大型风电场

细节



模型规模 : 20 DFIG WT
仿真步长 : 1us
仿真时长 : 0.2s
仿真耗时 : 1000s

模型规模持续增加带来新的调整

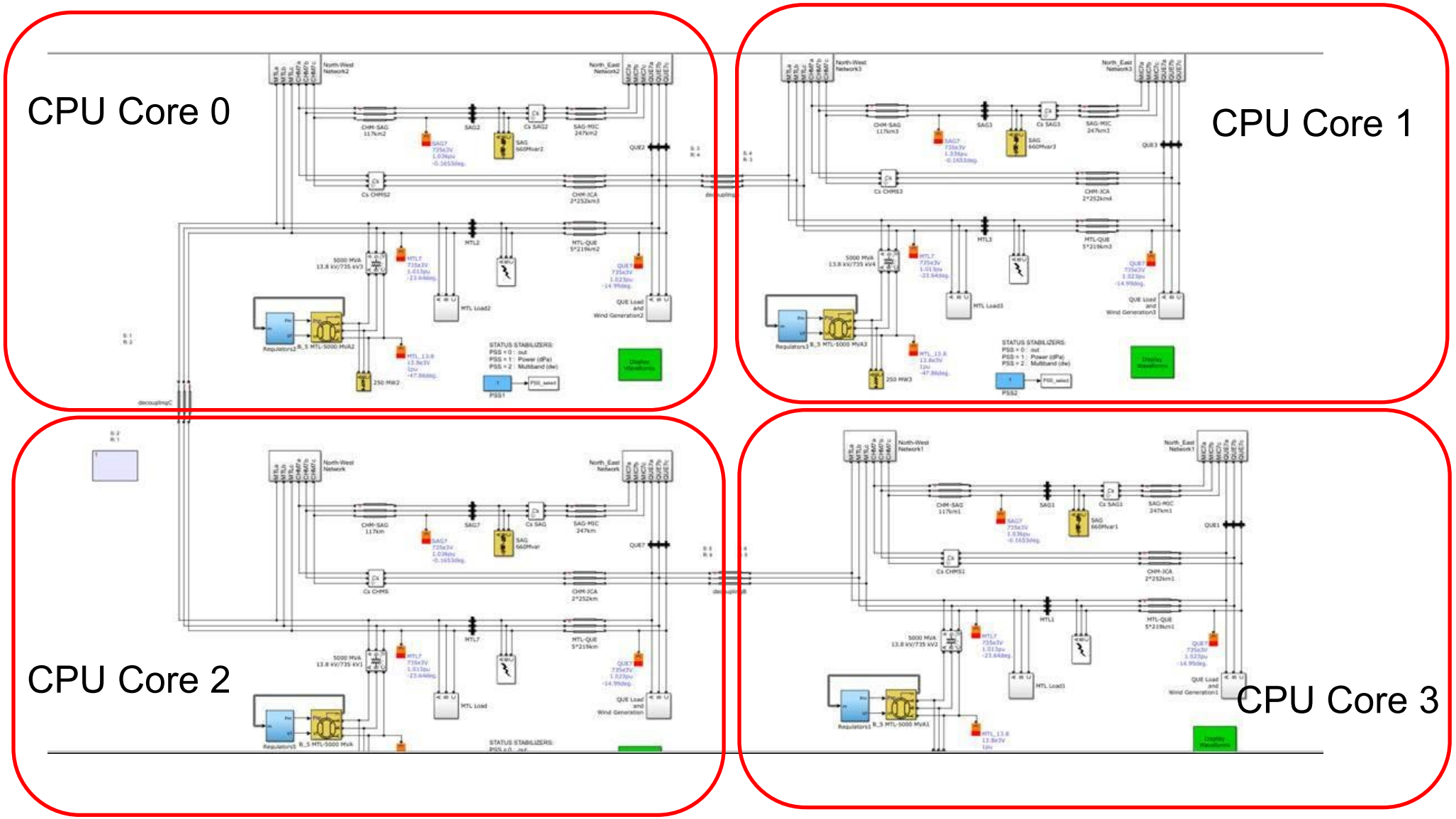


- 多数时候仿真是单线程的
- 无法最大化利用多核CPU

仿真中主要一个核中运行

解决方案

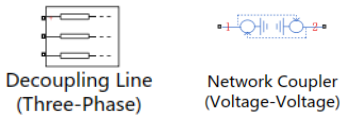
并行仿真



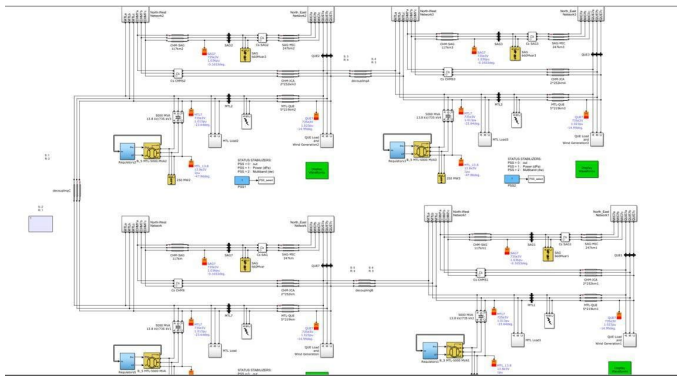
解决方案

模型解耦

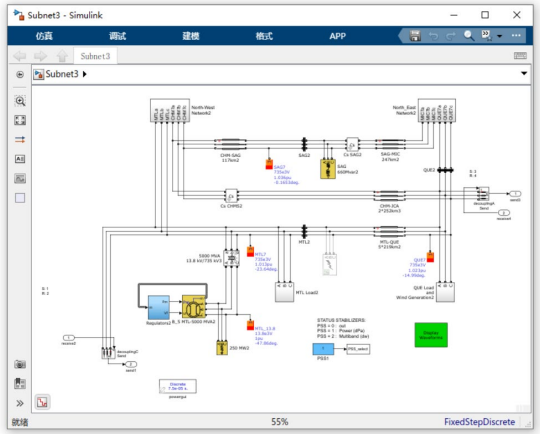
- 物理模型解耦



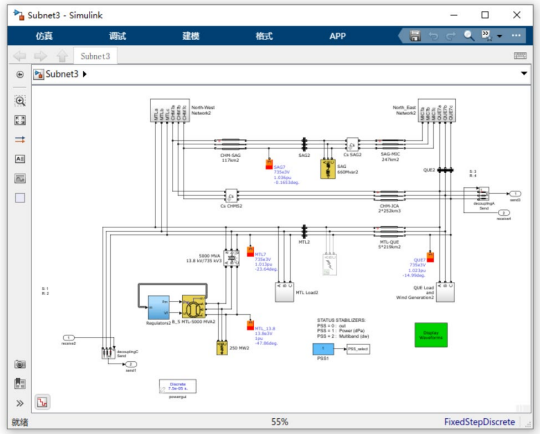
- 将模型分割成若干个子模型
- 利用‘PSIO’建立模型间通信

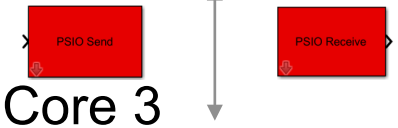


CPU Core 1

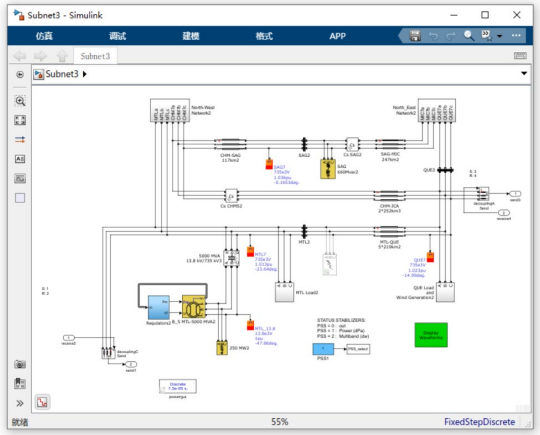


CPU Core 2

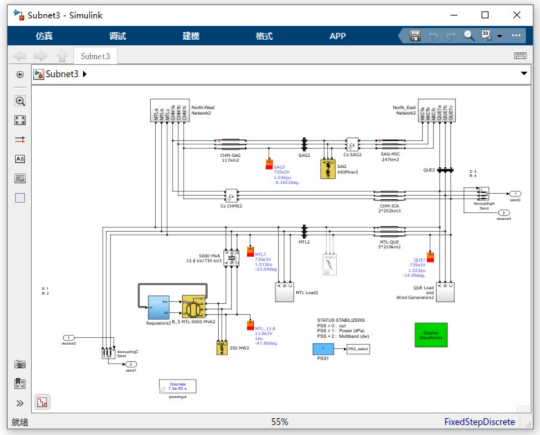




CPU Core 3



CPU Core 4

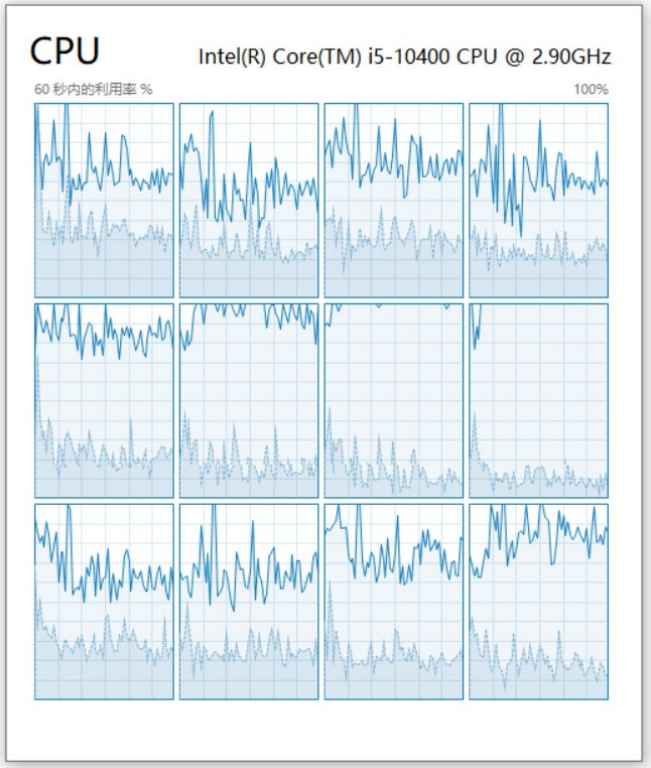


解决方案

启动多核仿真

- 使用 Parallel Computing Toolbox 启动并行仿真

CPU 利用率变得更高



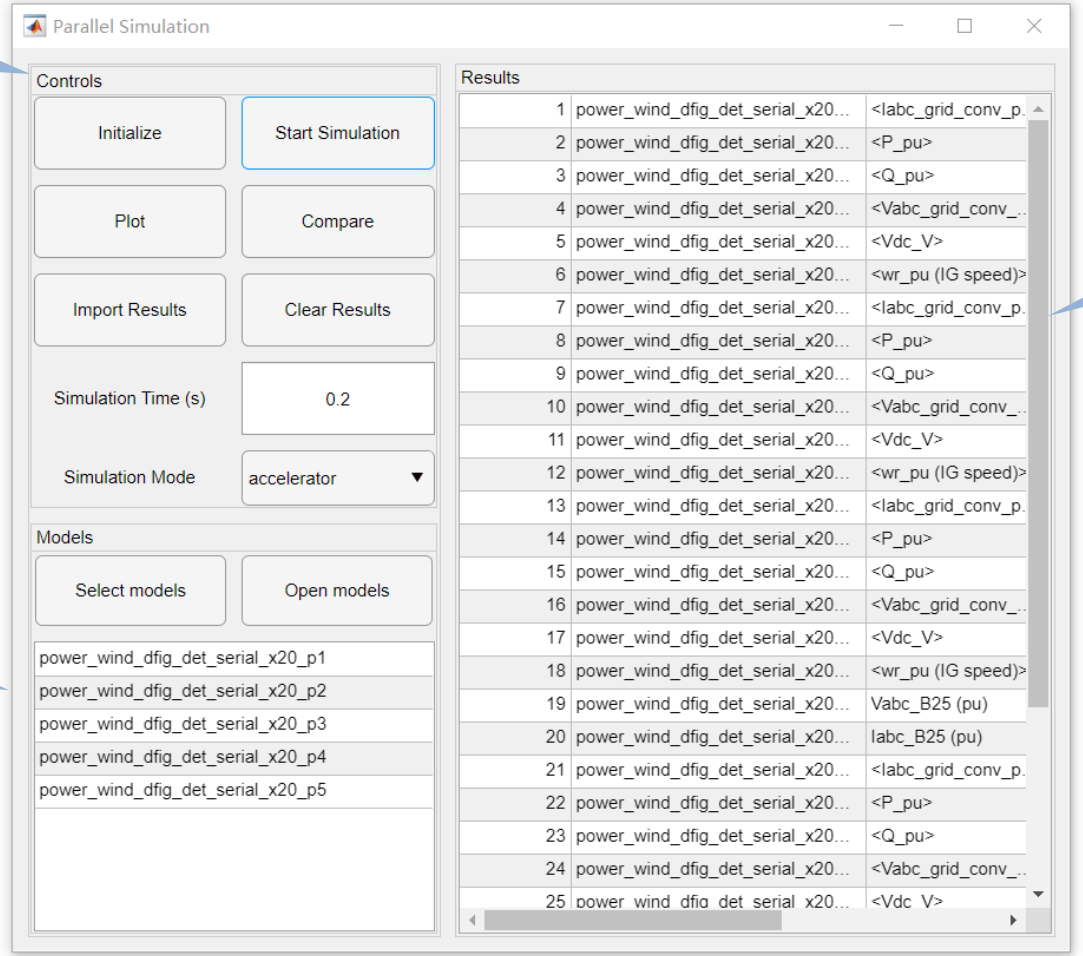
解决方案

并行仿真控制面板

仿真控制器

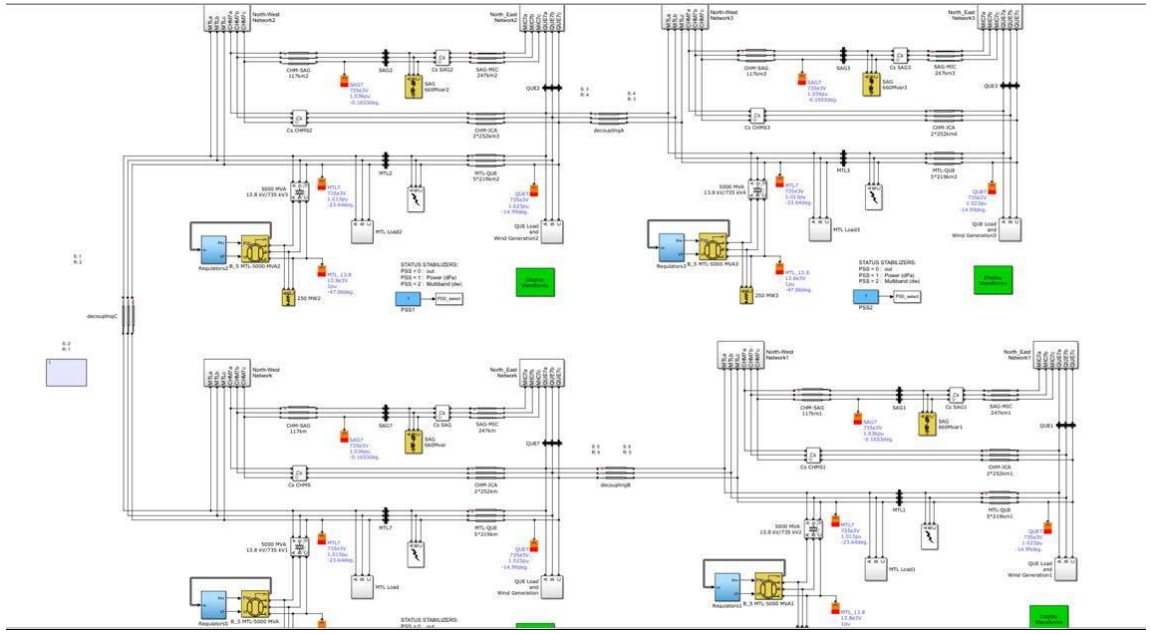
模型选择

仿真结果



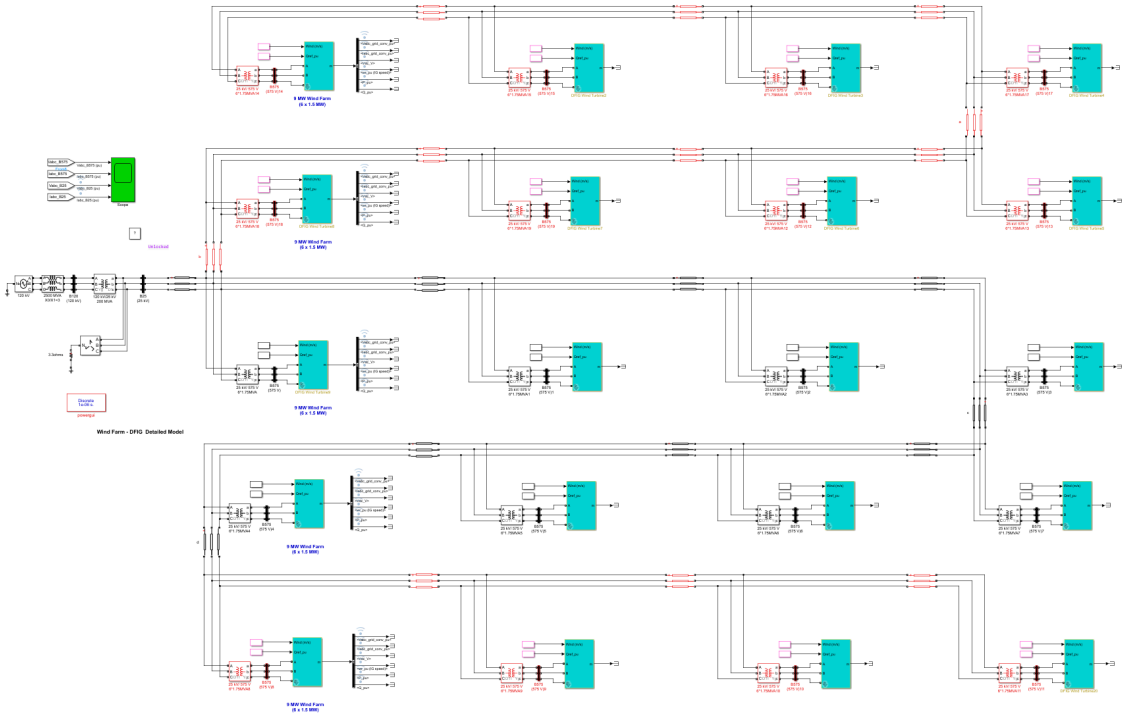
测试案例

案例1： 大电网电磁暂态仿真



模型规模 : 4*29 bus system
仿真步长 : 75us
仿真时长 : 4.5s
仿真耗时 : 320s

案例2： 包含开关特性风机构成的大型风电场

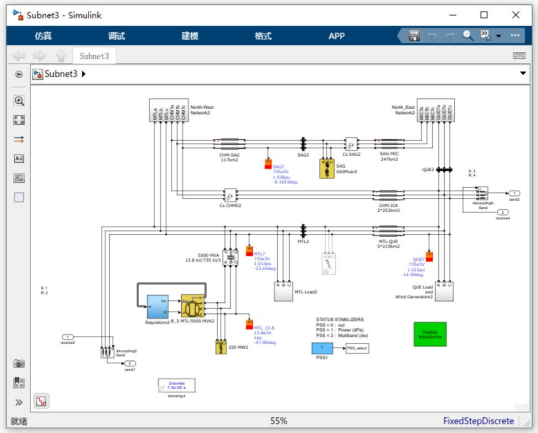


模型规模 : 20 DFIG WT
仿真步长 : 1us
仿真时长 : 0.2s
仿真耗时 : 1000s

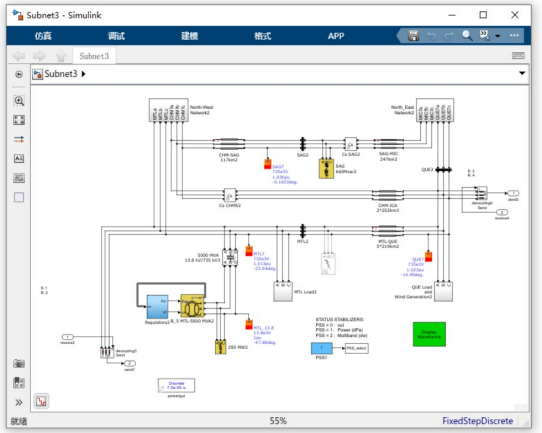
案例1：大电网电磁暂态仿真

- 大电网模型拆分成4个部分，分别运行到4个CPU核

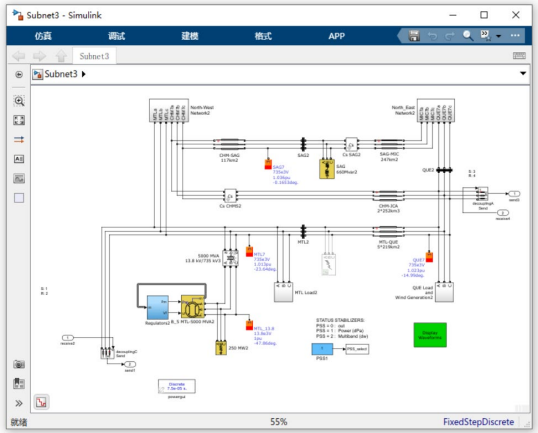
CPU Core 1



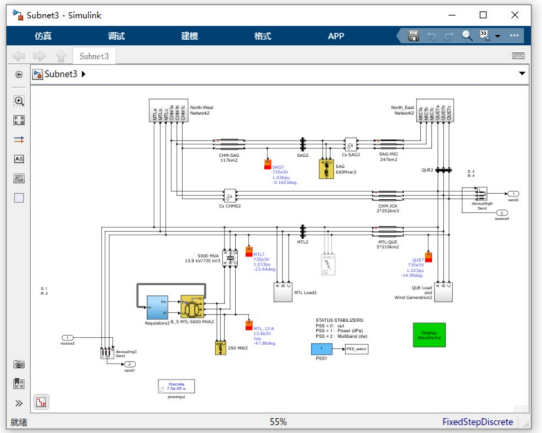
CPU Core 2



CPU Core 3



CPU Core 4



工程 - MultiCoreDemo

工程 | 工程快捷方式

新建快捷方式 | 整理组 | 管理

power_LFnetwork_29bus_x4 | 常规

power_LFnetwork_29bus_x4_p | S2

power_LFnetwork_29bus_x4_p_mf | S3

ParallelSimulationControlPanel | Subnet_p1 | Subnet_p2 | Subnet_p3 | Subnet_p4 | S4

视图

文件

依存关系分析器

所有 | 工程 (36) | 已修改 (37)

布局: 树

名称	状态	分类	SVN	修订版
app	✔			2
icon.PNG	·			
ParallelSimulationControlPanel.mlapp	✔	设计		2
Doc	✔			1
Lib	✔			1
Model	✔			1
power_LFnetwork_29bus_x4_p.slx	✔	设计		1
power_LFnetwork_29bus_x4_p.slx.r2021a	·			
power_LFnetwork_29bus_x4_p_mf.slx	✔	设计		1
power_LFnetwork_29bus_x4.slx	✔	设计		1
power_LFnetwork_29bus_x4.slx.r2021a	·			
Subnet1.slx	✔	设计		2
Subnet1.slx.r2021a	·			
Subnet2.slx	✔	设计		1
Subnet3.slx	✔	设计		1
Subnet4.slx	✔	设计		1
Subnet_p1.slx	✔	设计		2
Subnet_p2.slx	✔	设计		2
Subnet_p3.slx	✔	设计		2
Subnet_p4.slx	✔	设计		2
resources	·			1
Result	·			
Script	✔			1
Work	·			
MultiCoreDemo.prj				1

标签

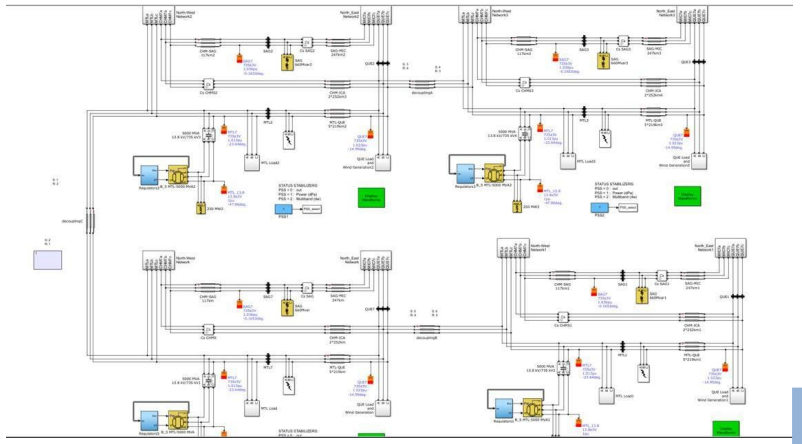
分类

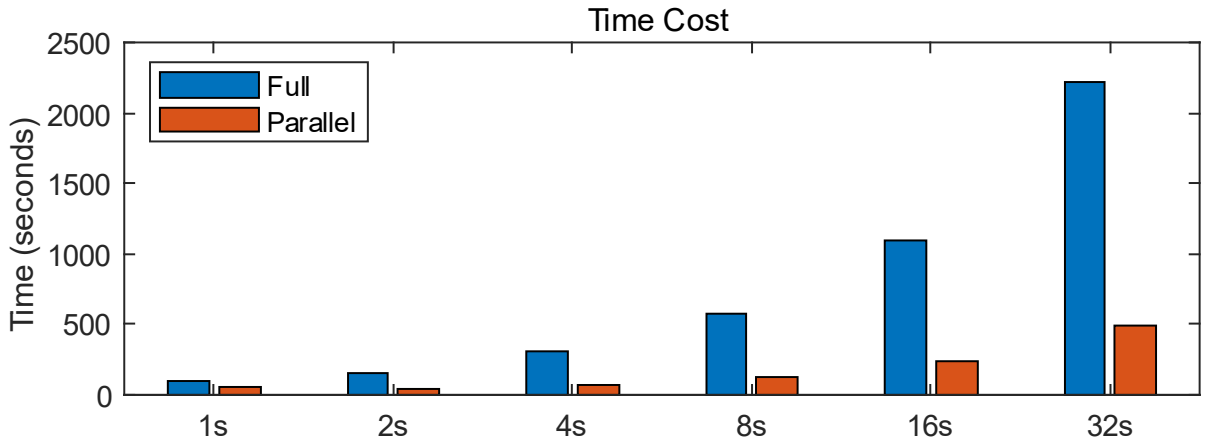
详细信息

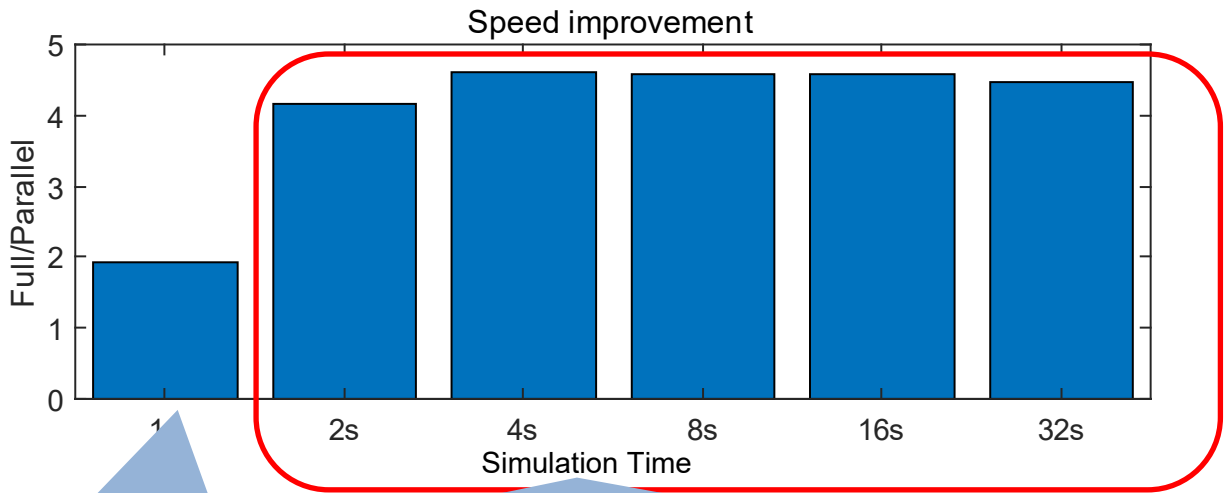
案例1：大电网电磁暂态仿真

测试结果: 速度提升

- 完整模型（Full）拆分成四个并行模型（Parallel）
- 四核加速
- 并行模型比完整模型快四倍
- 长时仿真结果更好
- PCT 需要时间做初始化







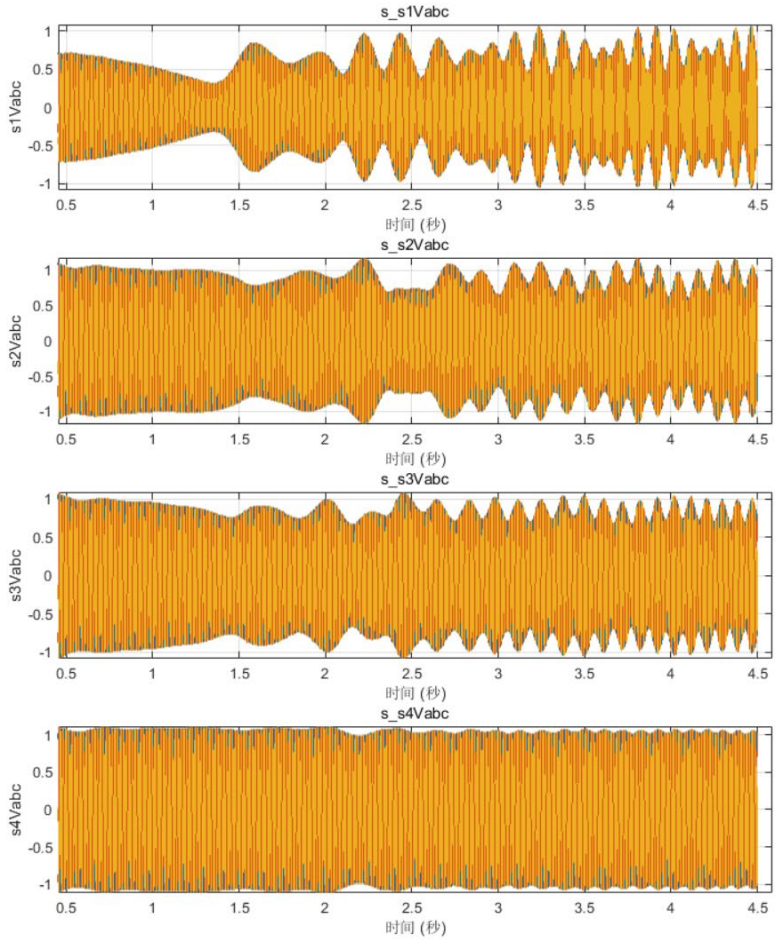
PCT 初始化占比高

速度提升倍数

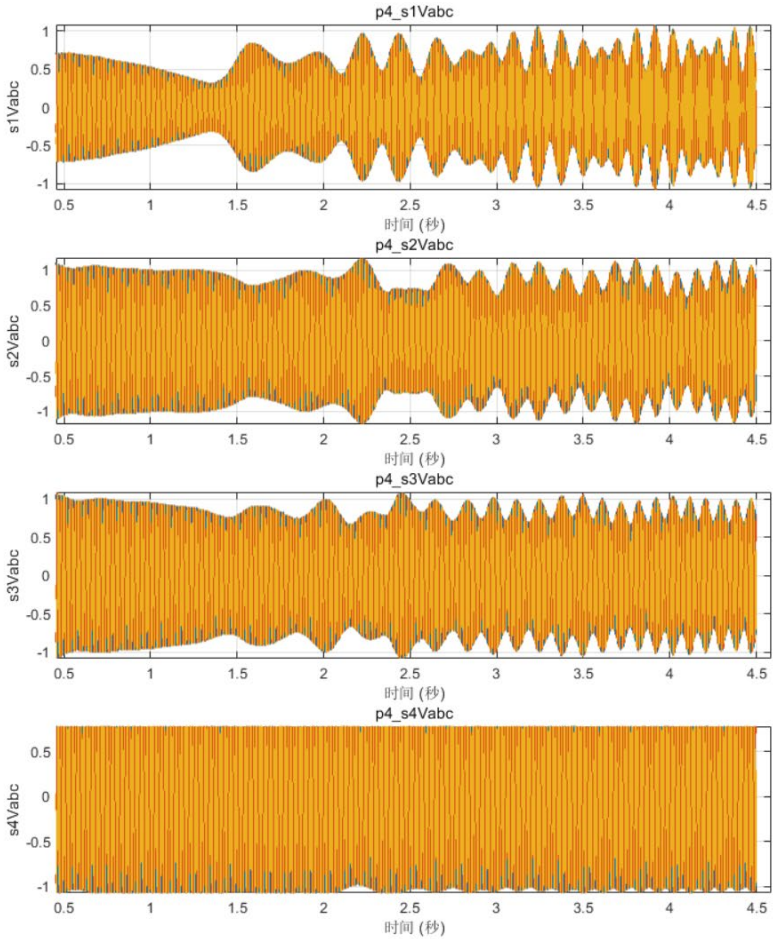
案例1：大电网电磁暂态仿真

测试结果：电气信号比较

Full model



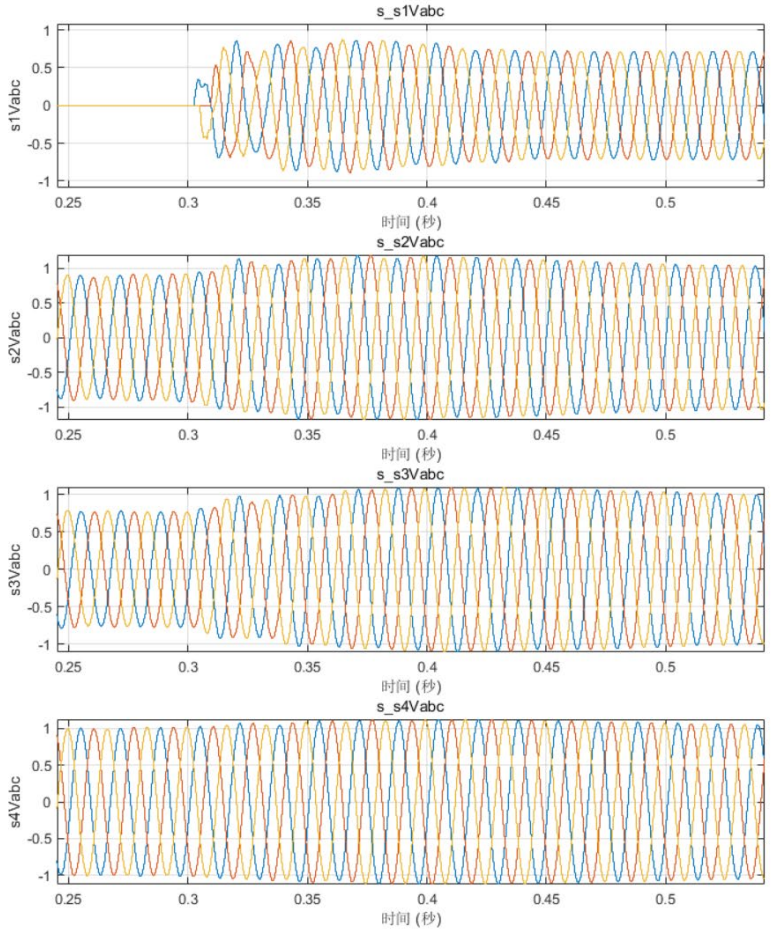
Parallel 4 models



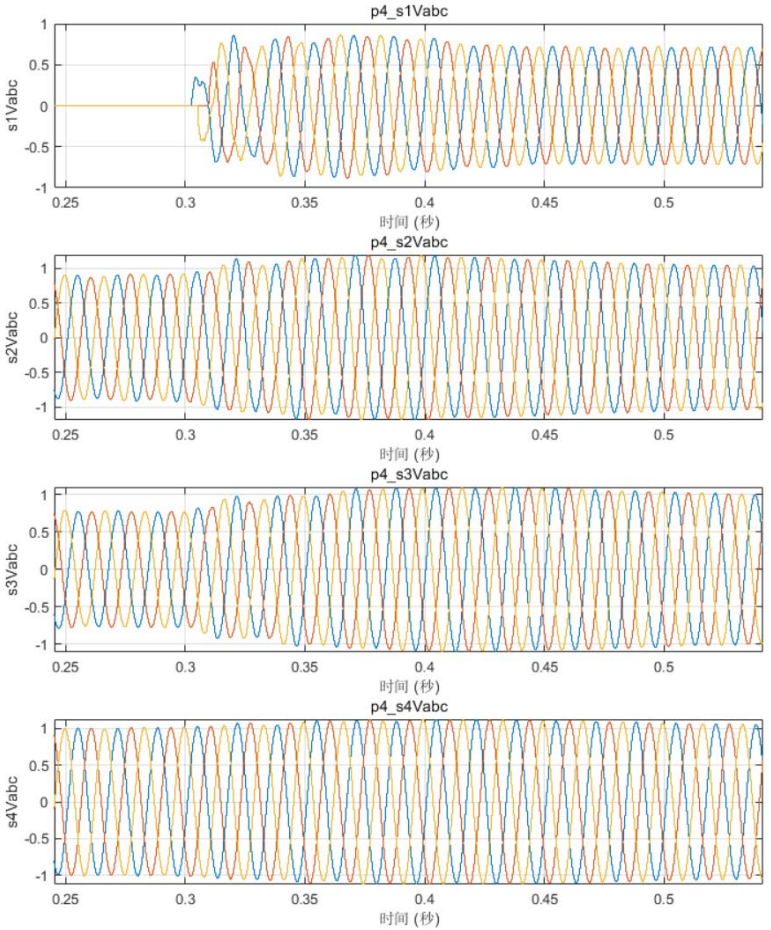
案例1：大电网电磁暂态仿真

测试结果：电气信号比较

Full model

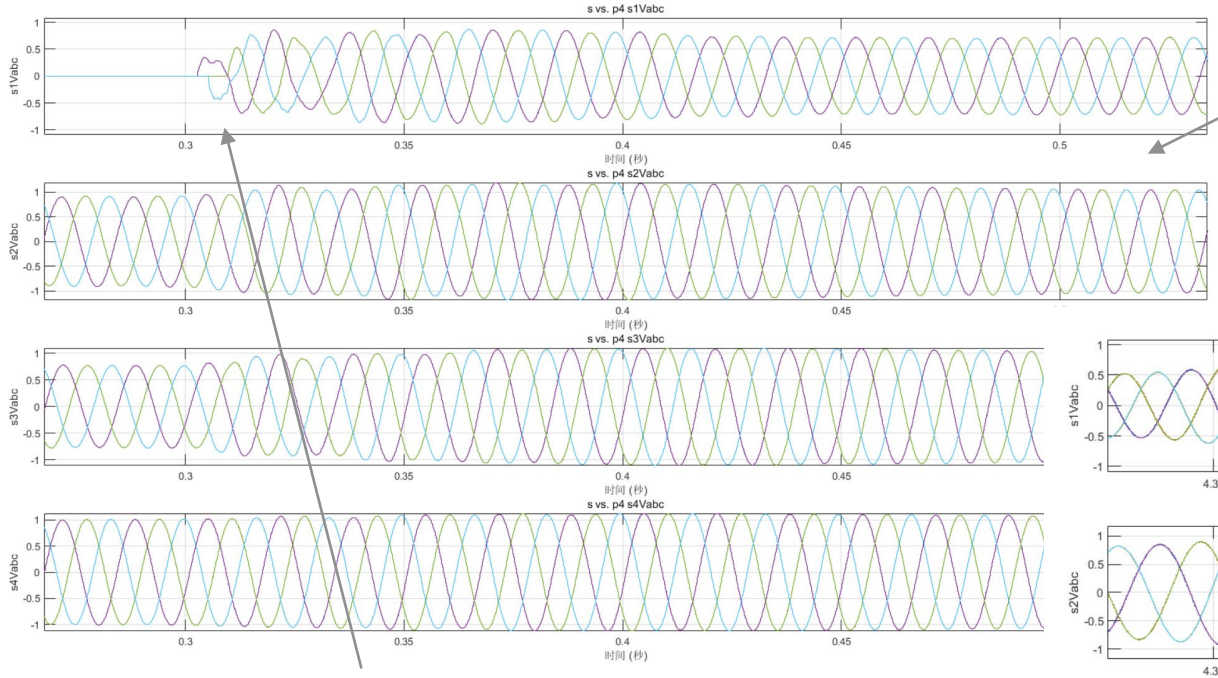


Parallel 4 models



案例1：大电网电磁暂态仿真

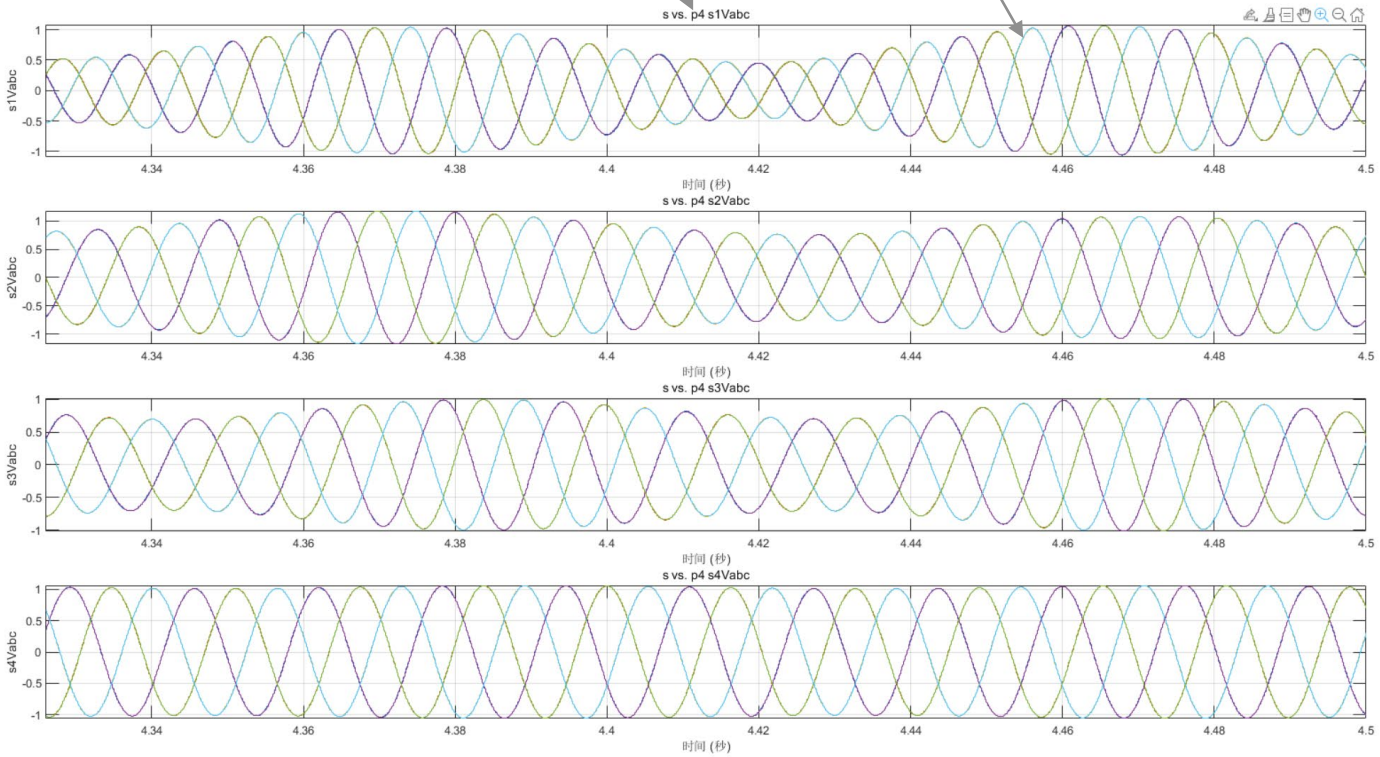
测试结果：电气信号比较



暂态过程

完整模型和并行模型结果在同一幅图里重合了

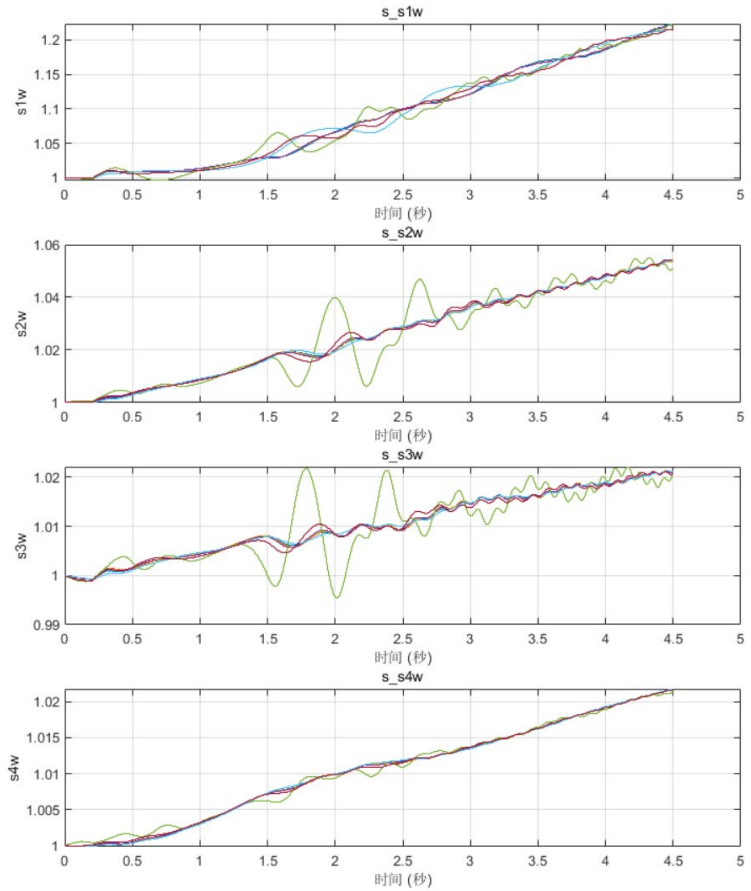
长时



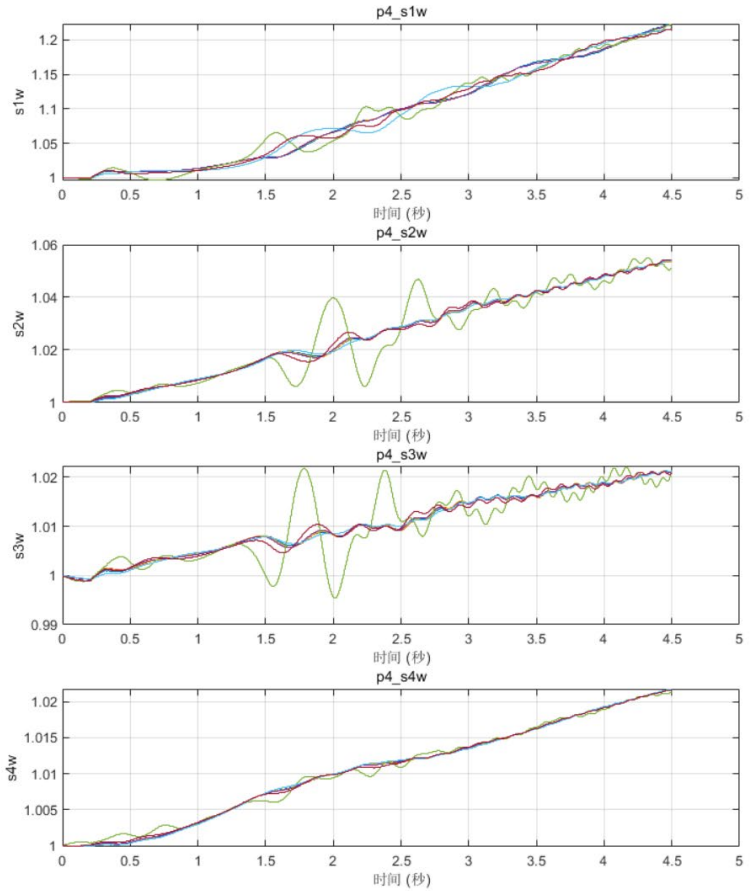
案例1：大电网电磁暂态仿真

测试结果：机械转速

Full model

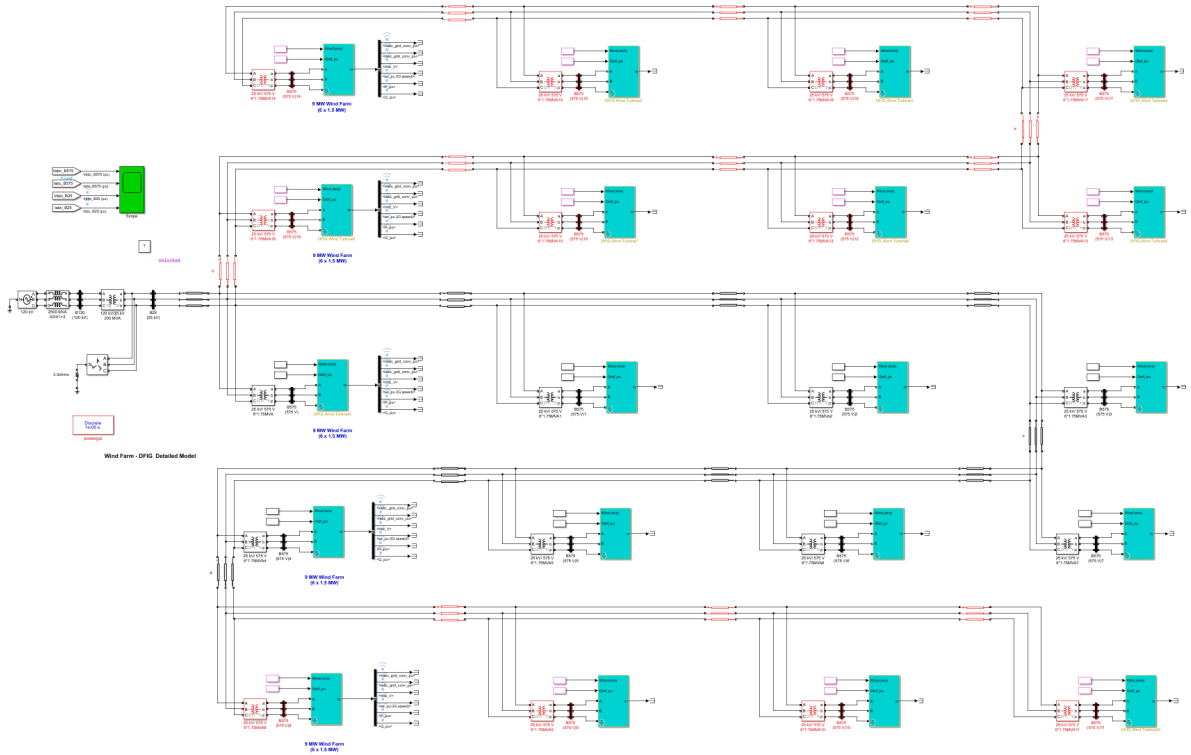


Parallel 4 models



案例2：风电场测试

20x DFIG 风电场 分成五组，拆分成五个模型，
在六核CPU上进行并行仿真



Full Model

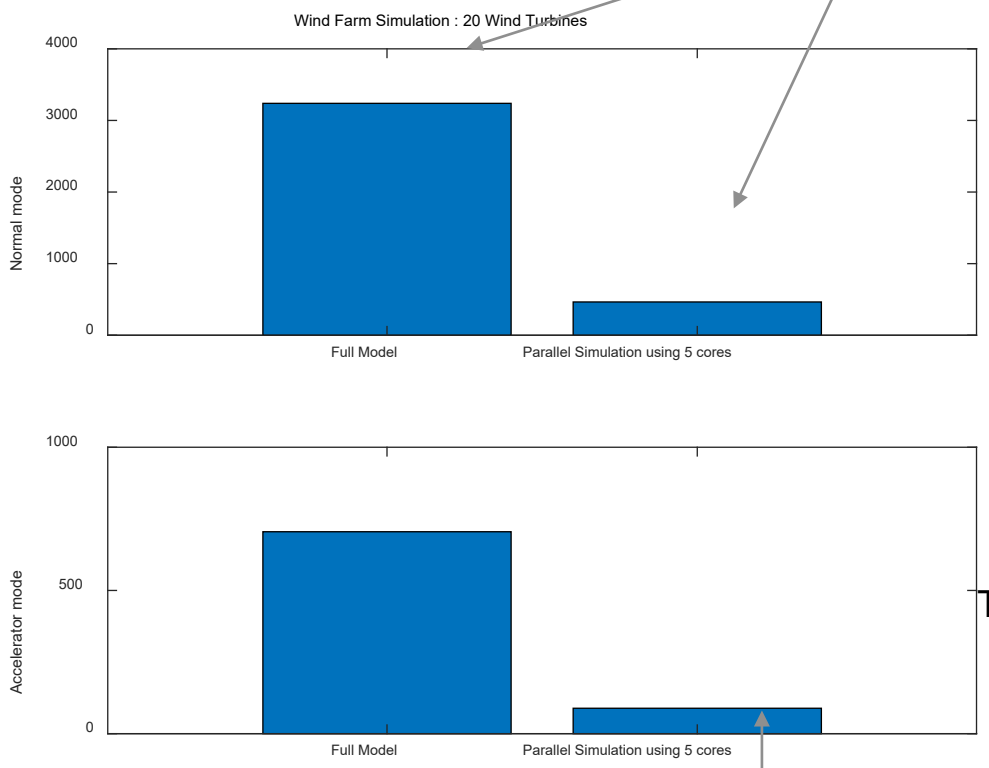
Parallel Models

案例2：风电场测试

测试结果

仿真耗时

近七倍的提速



加速模型提升效果更明显

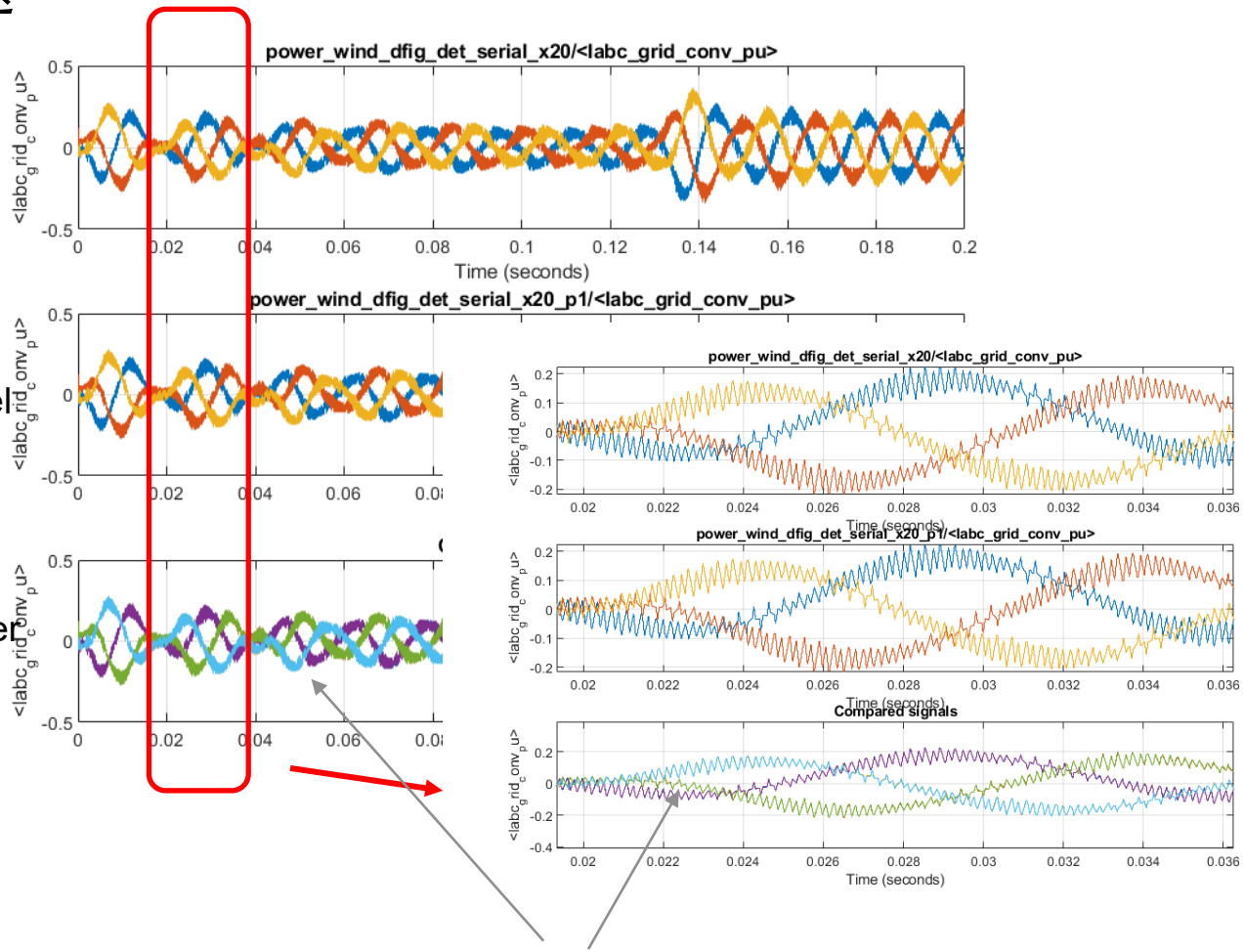
低穿暂态仿真结果比较

Full model and Parallel Models

Full

Parallel

Together



仿真结果一致

总结

- 仿真速度优化
  - Solver Profiler – 步长查看
  - Simulink Profiler – 模型仿真时间统计
  - Performance Advisor – 模型性能检查
  - 加速模式 – 利用代码进行仿真加速

- 并行仿真
  - 物理模型解耦降低仿真复杂度与模型拆分
  - PSIO 实现模型建虚拟连接
  - Parallel Computing 实现并行仿真任务执行

MATLAB EXPO

Thank you