

海尔智家  
Haier smart home

## 基于模型设计赋能洗衣机控制算法设计和软件实现

王越, 青岛海尔洗衣机有限公司



MATLAB EXPO

# 海尔智家：以智家体验云创物联网第一生态品牌

高端品牌

场景品牌

生态品牌

物联网生态圈

为全球用户定制个性化的智慧生活

三大生态品牌引领：高端品牌、场景品牌、生态品牌

高端品牌

Casarte MONOGRAM Leader  
 C A F É GE Profile Hotpoint  
 FISHER & PAYKEL DCS Candy  
 Haier GE APPLIANCES  
 GE a Haier company

高价值的服务

场景品牌

三翼鸟  
 智慧阳台 智慧厨房 智慧玄关  
 智慧客厅 智慧书房 智慧衣帽间

全场景的方案

生态品牌

X-联网  
 衣联网 食联网  
 空气网 水联网生态  
 .....

无止境的体验

# 海尔智家洗涤产业

定位

基于用户衣物生活场景打造的整体智慧生态方案，实现全球首个衣联网引领引爆衣物全生命周期物联网解决方案，为用户提供购、洗、护、穿、存的最佳体验

对资源

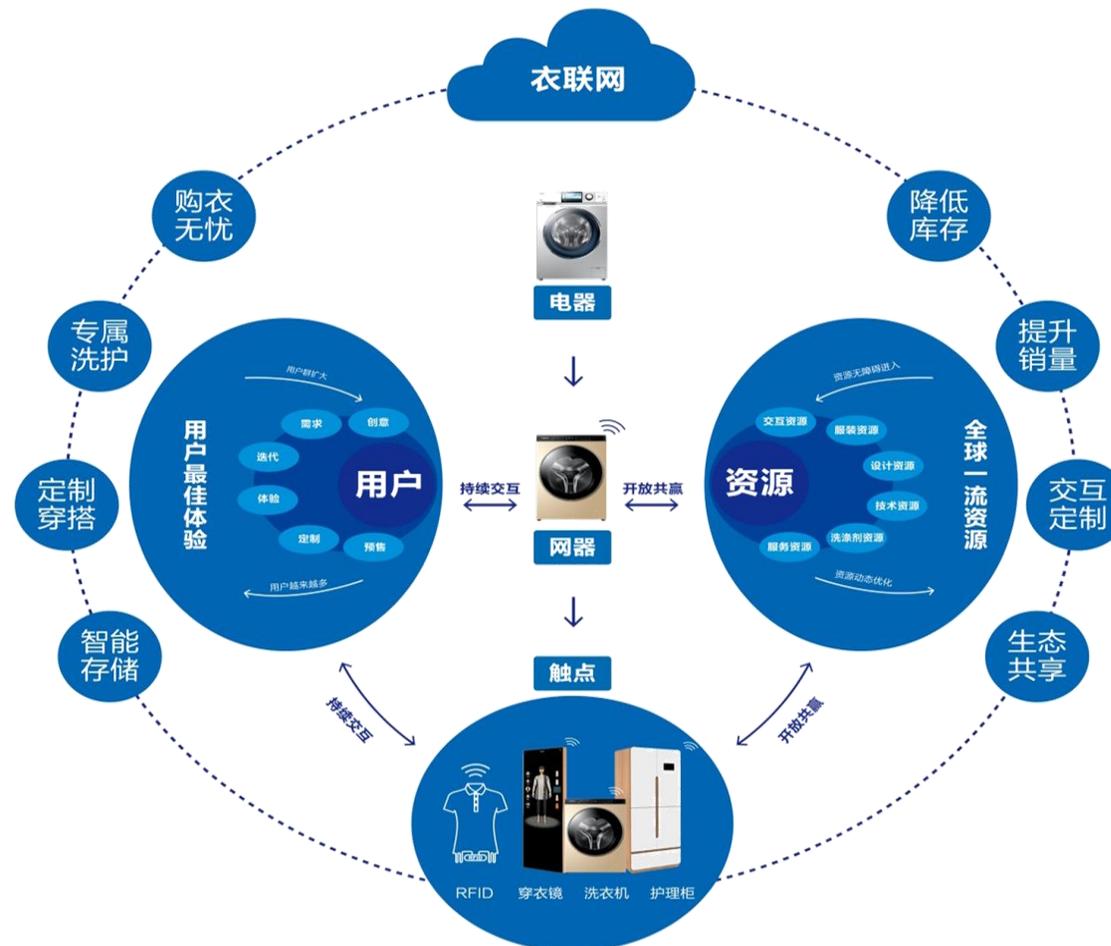
海尔衣联云平台共享

- 衣联生态联盟共创共赢
- RFID衣联解决方案
- 用户衣联小数据

对用户

全屋衣联解决方案

- 极致洗护体验
- 智能存储、搭配
- 专属定制、购买

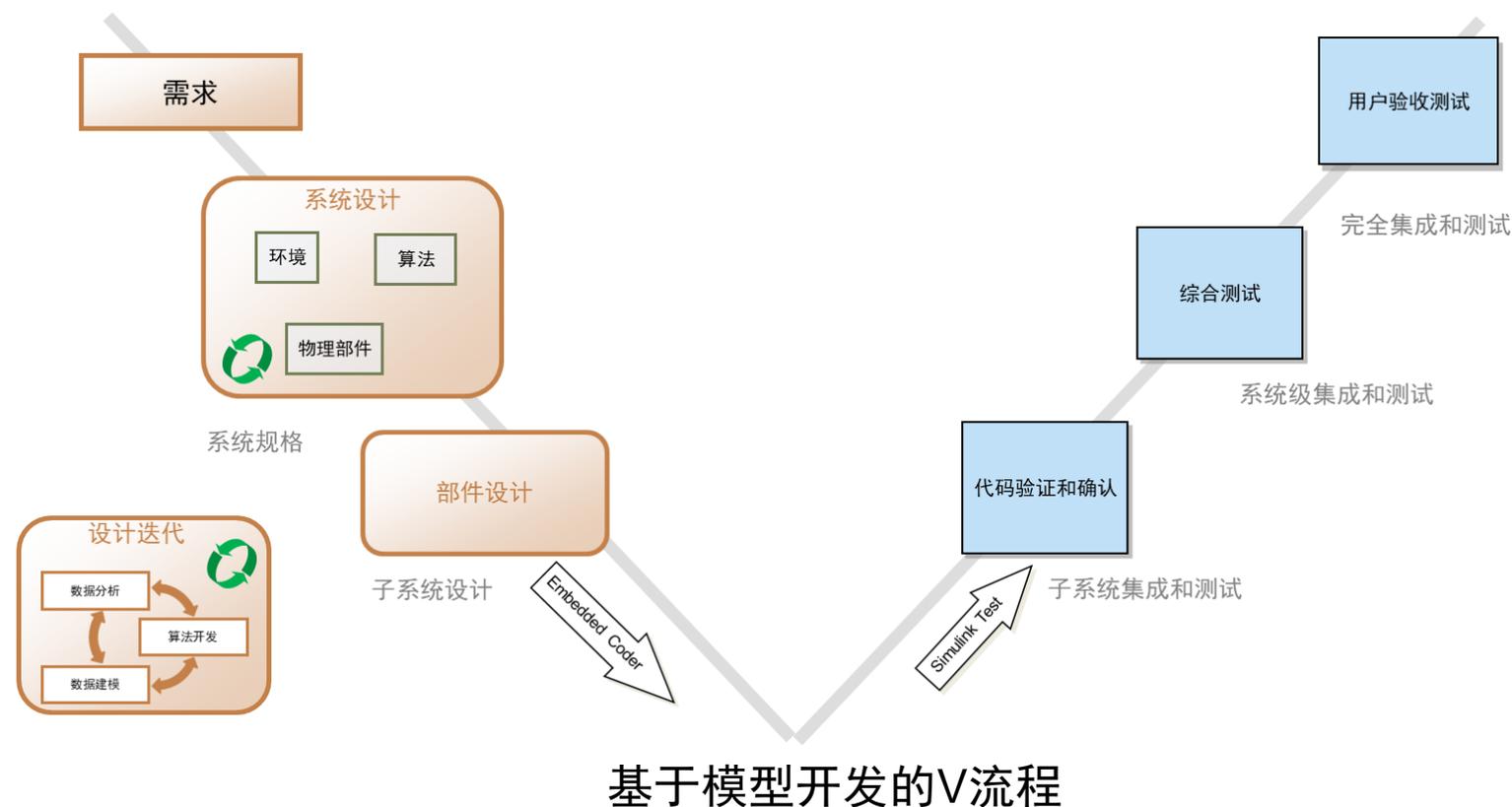


Cosmo平台

# 项目背景-洗衣机控制算法设计和软件实现

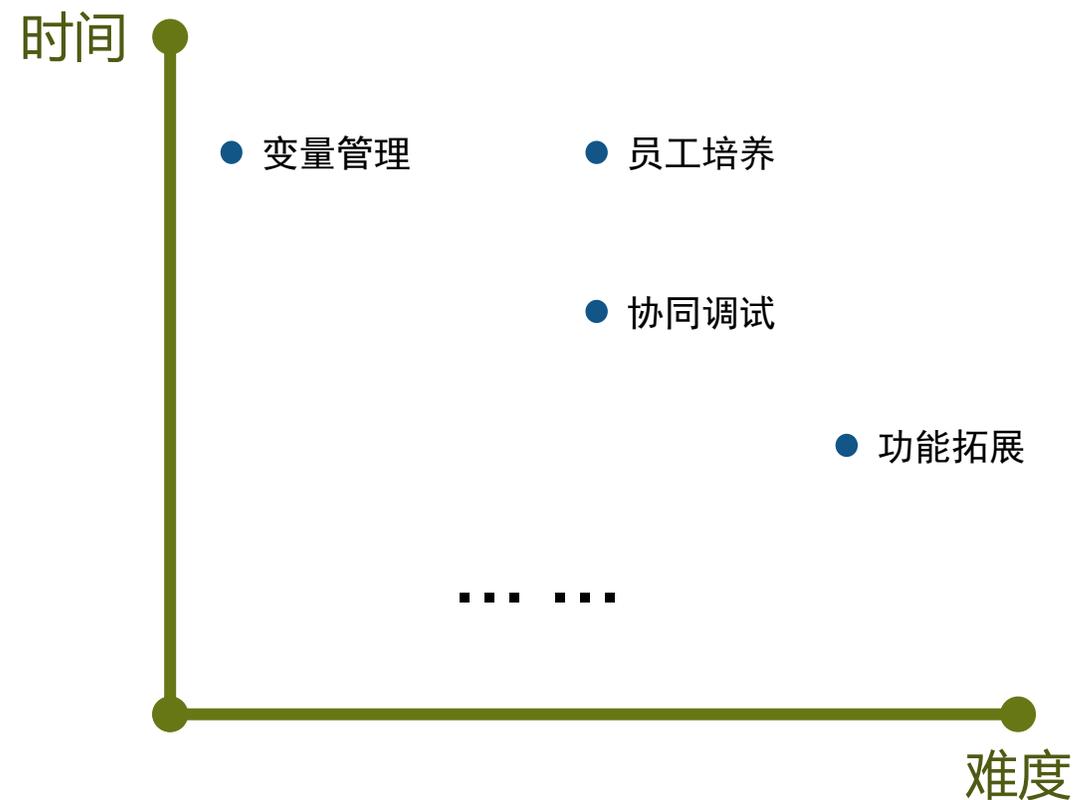
对控制相关系统进行建模，利用模型的仿真测试及代码生成功能，模拟控制工况，提升开发效率。

- 电机驱动系统
  - 电机驱动模块建模
  - 控制状态机
  - 代码生成及模型测试
- 滚筒洗涤系统
  - 滚筒洗涤系统建模
  - 洗衣机流程状态机
  - 性能匹配及模型修正

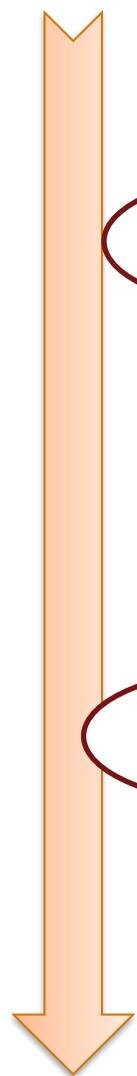


# 项目动机-传统开发模式难点

- 各类变量数量种类繁多，查找及应用困难
- 功能拓展需求增加，难以系统化管理
- 团队新成员理解算法及老员工的多人协同难度大
- 控制对象数量增多，需要借助模型协同调试



# 项目背景-设计工具考量



传统开发方式  
(手写代码)



算法通过文档设计&表述

- ◆ 设计结果**无法**在硬件实现前预知
- ◆ 软件工程师**需要**理解算法表述

软件通过手写代码实现

- ◆ 可能会**人为**引入编码错误
- ◆ 需要**识别问题**来源 (算法/编码)

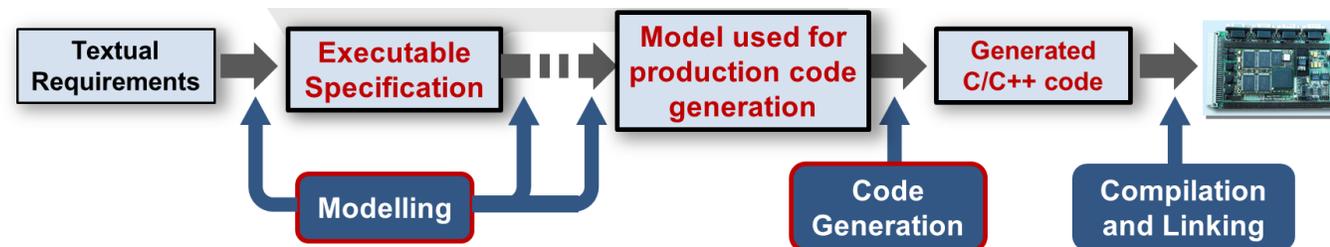
特定硬件 IDE 部署

- ◆ 特定算法库**封闭**不可读
- ◆ 跨平台**移植性差**

算法通过模型设计&表述

自动代码生成

基于模型开发  
方式 (MBD)



友好设计工具  
缩短迭代周期  
提升研发效率

# 项目动机-传统开发模式难点

- 各类变量数量种类繁多，查找及应用困难
- 功能拓展需求增加，难以系统化管理
- 团队新成员理解算法及老员工的多人协同难度大
- 控制对象数量增多，需要借助模型协同调试

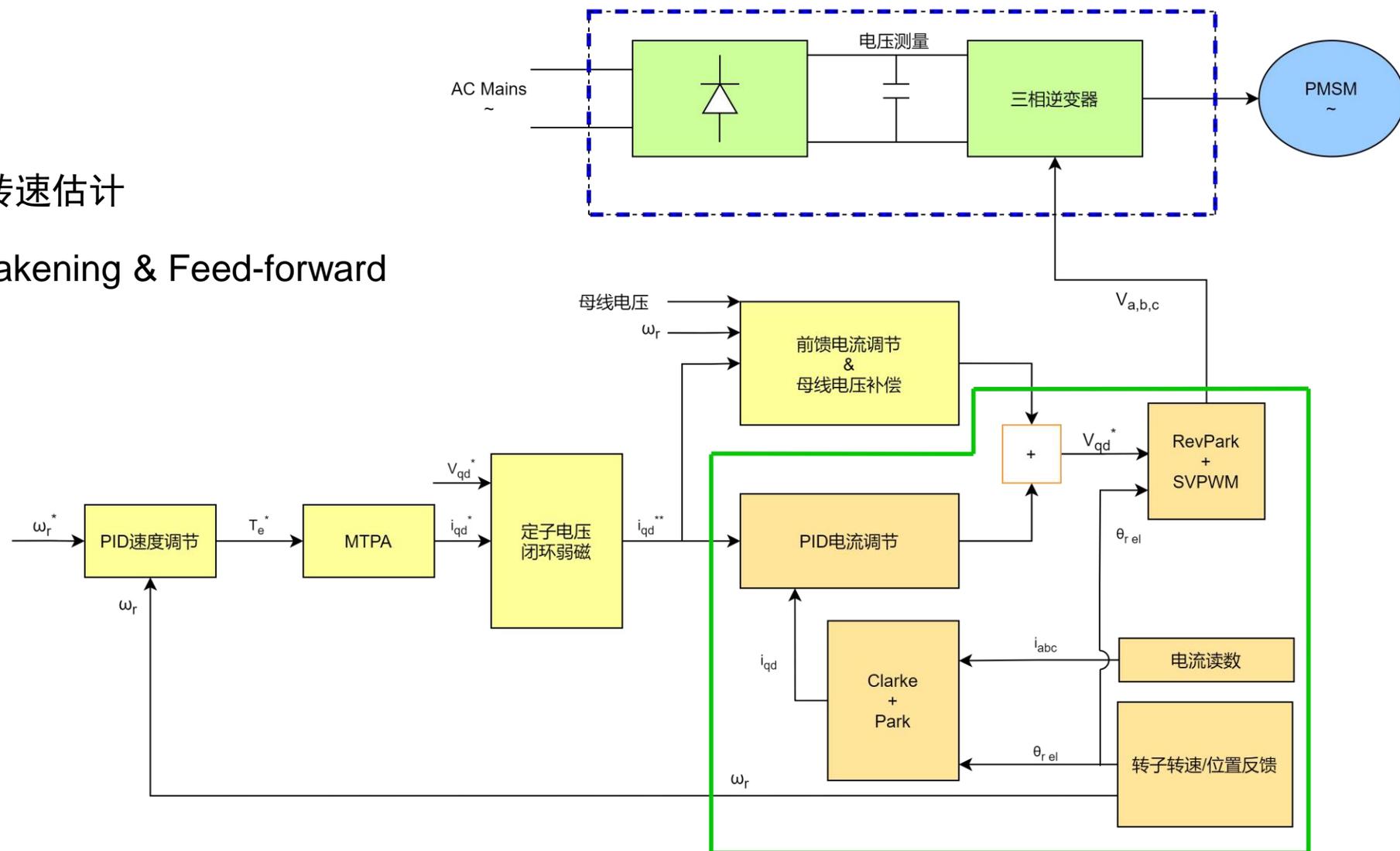
**随模型版本迭代的数据字典**

**成熟算法模型库与 Simulink 工程管理**

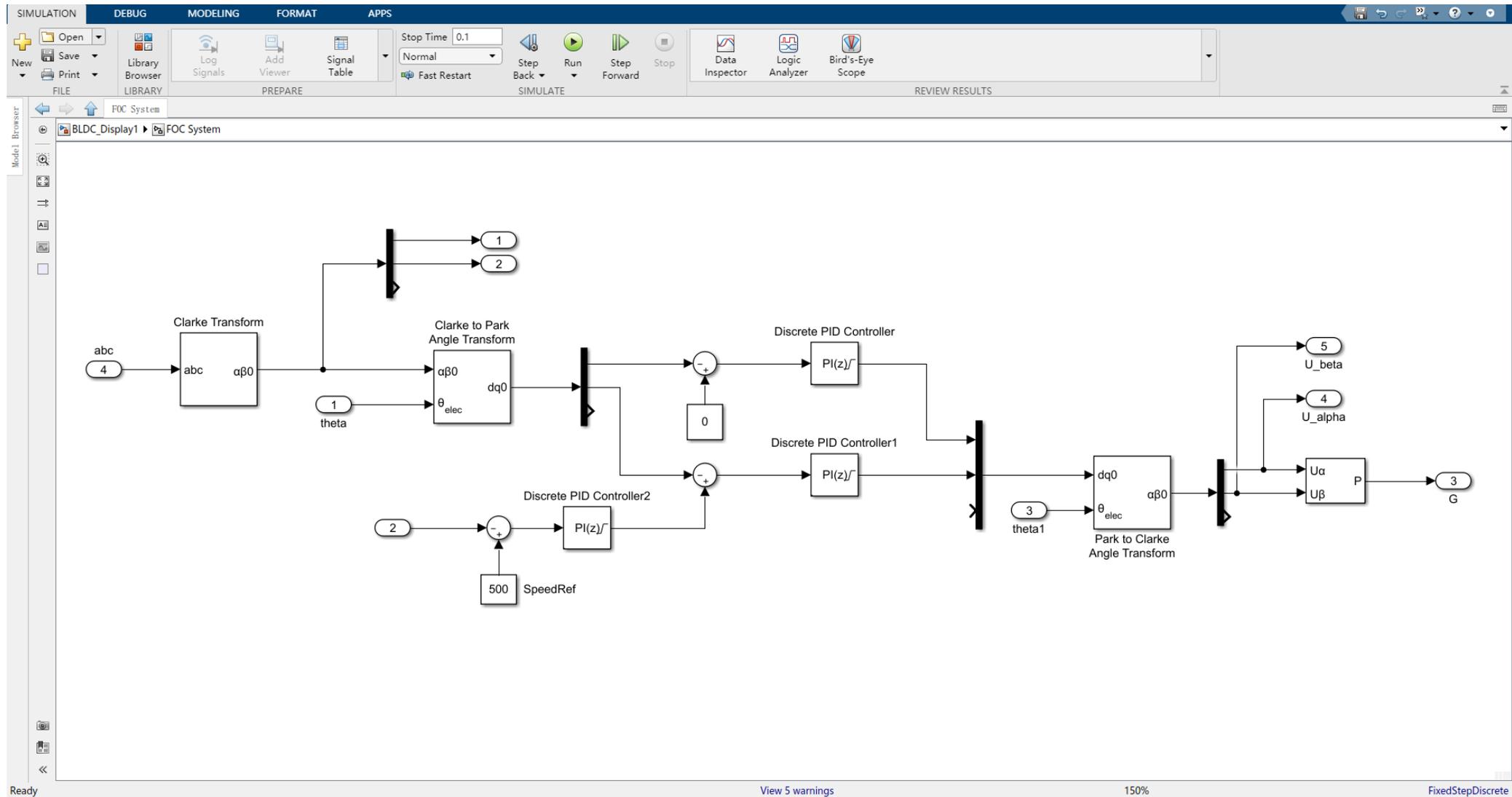
**虚拟的被控对象供算法设计与调试**

# 项目实施-控制逻辑框图及模块分割

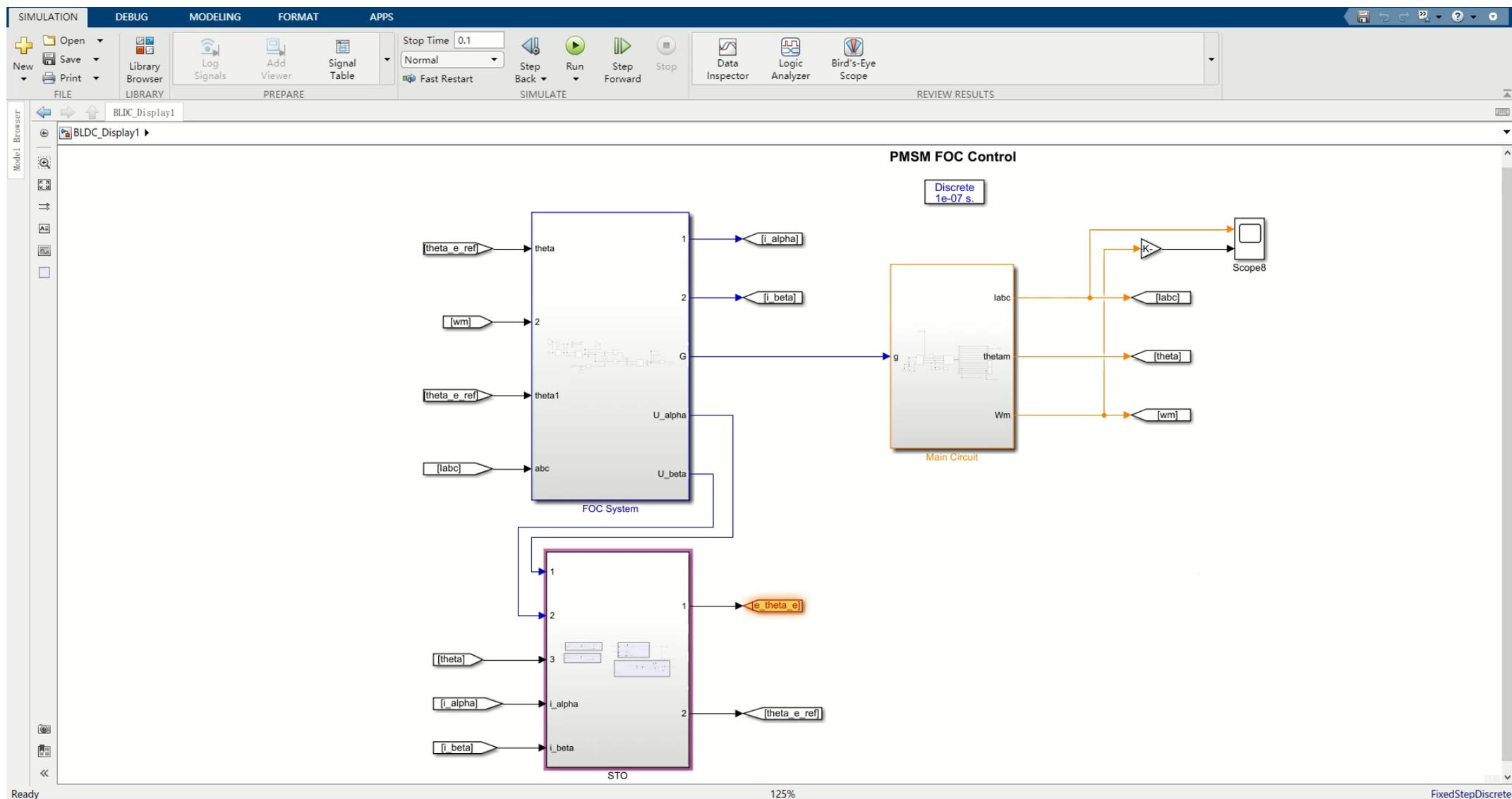
- FOC算法
- 无传感器位置/转速估计
- MTPA, Flux weakening & Feed-forward
- SVPWM技术



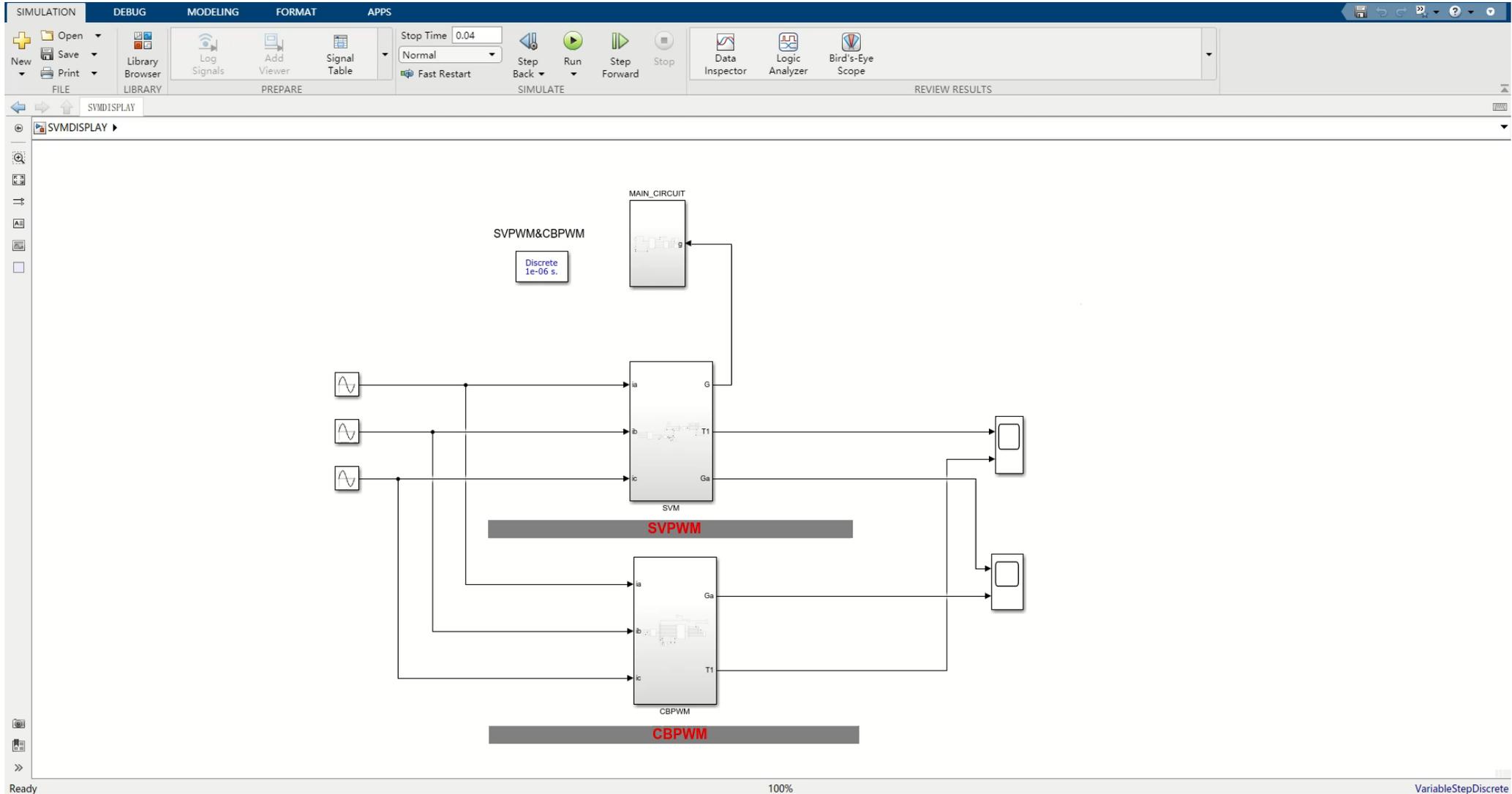
# 项目实施-FOC算法建模



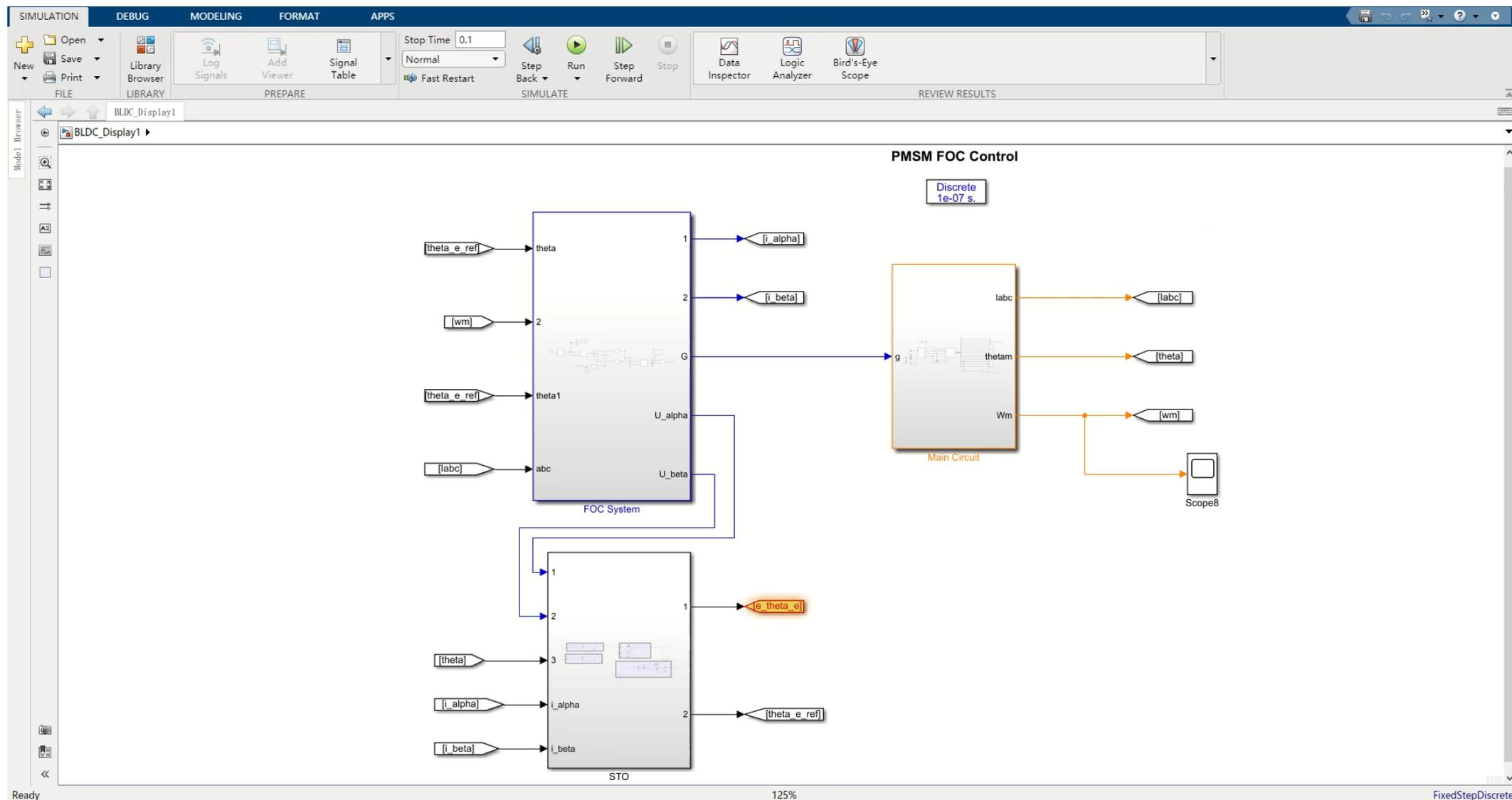
# 项目实施-位置/转速估计控制算法建模



# 项目实施-SVPWM重构

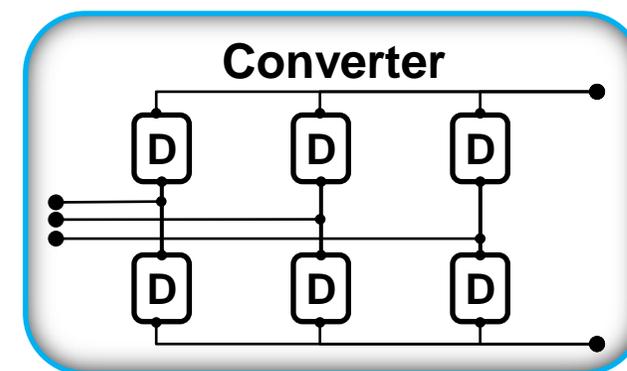
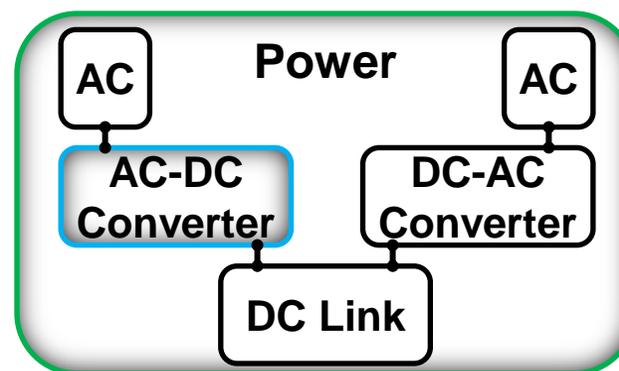
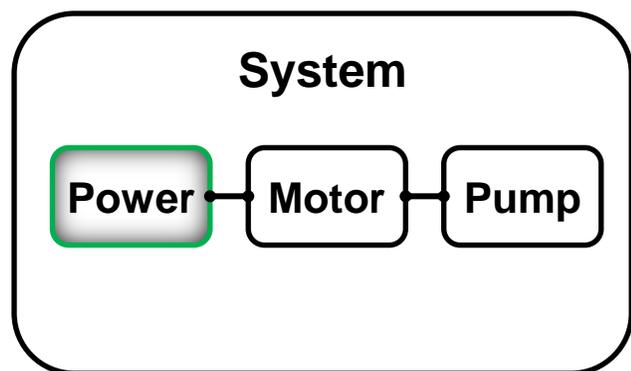


# 项目实施-对象模型建模



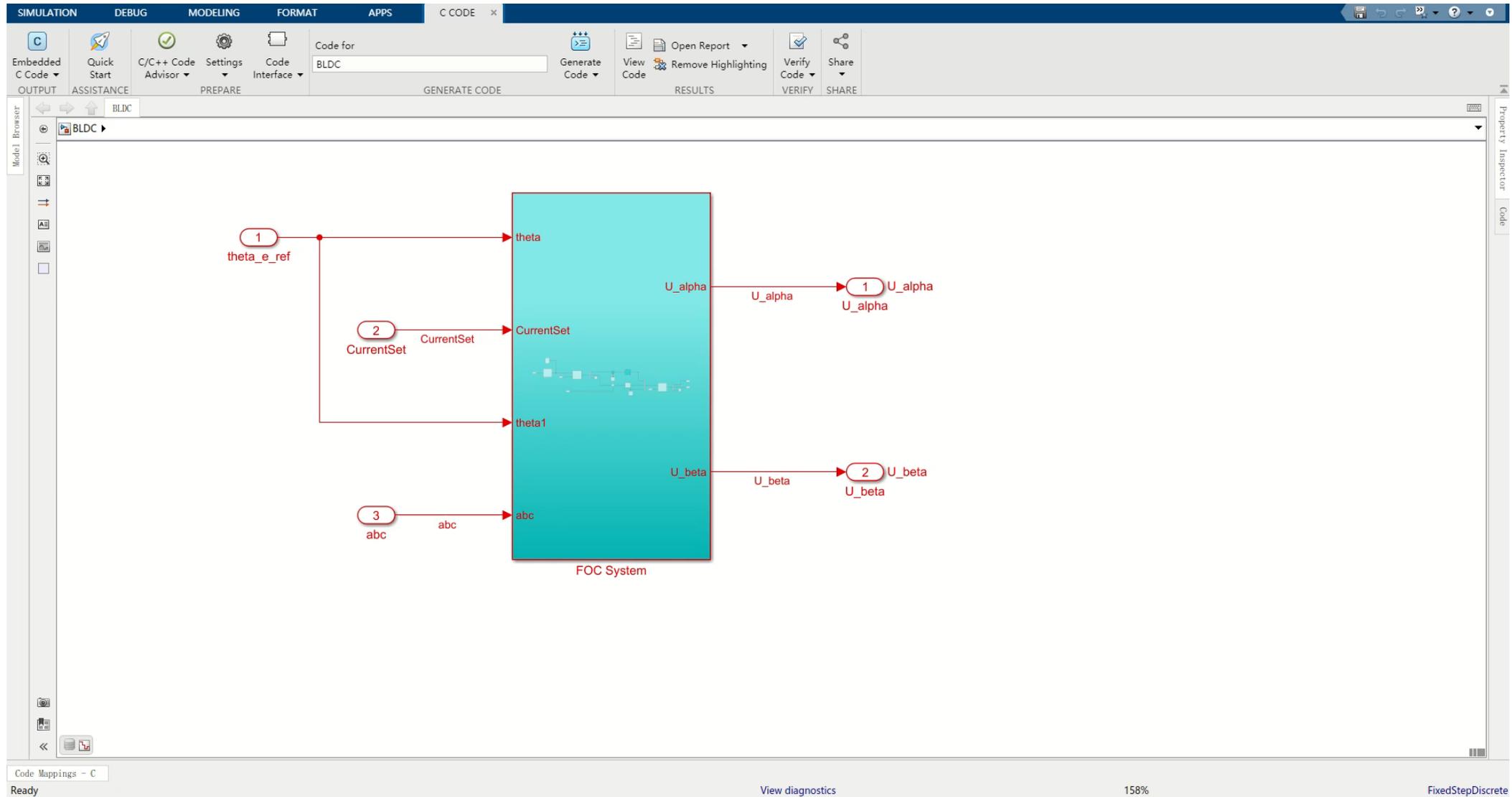
# 项目实施-对象模型仿真速度与精度的考量

	系统级行为	组件确认	组件设计
电力电子建模	确定功率需求 评估系统级响应 权衡效率	设计工况内的仿真验证 开关动态效应分析	开关损失分析 故障行为分析



半导体器件	分段线性 I-V 特性曲线 无开关效应	分段线性 I-V 特性曲线 简化的充放电动态	非线性 I-V 特性曲线, 饱和效应 详细的充放电动态
电机	稳态等效电路 基于能量的扭矩指令	热效应	非线性磁效应 磁饱和

# 项目实施- FOC 自动代码生成



# 项目实施- FOC 代码集成&部署

The screenshot displays an IDE environment with a C source file named `mc_tasks.c` open. The code includes various motor control parameters and functions. A comment indicates that the code was generated by MATLAB. The console window shows a successful download message followed by a debugger connection error.

```

1437 ab_t Iab;
1438 alphabeta_t Valphabeta;
1439 int16_t hElAngle;
1440 uint16_t hCodeError;
1441 SpeednPosFdbk_Handle_t *speedHandle;
1442 speedHandle = STC_GetSpeedSensor(pSTC[M1]);
1443 hElAngle = SPD_GetElAngle(speedHandle);
1444 hElAngle += SPD_GetInstElSpeedDpp(speedHandle)*PARK_ANGLE_COMPENSATION_FACTOR;
1445 PWMC_GetPhaseCurrents(pwmcHandle[M1], &Iab);
1446
1447 /* Generate Code with MATLAB
1448 * FOC Begin
1449 */
1450
1451 BLDC_U.theta_e_ref = hElAngle;
1452 abc[0] = Iab.a;
1453 abc[1] = Iab.b;
1454 abc[2] = 0 - Iab.a -Iab.b;
1455
1456 BLDC_step();
1457
1458 Valphabeta.alpha = U_alpha;
1459 Valphabeta.beta = U_beta;
1460 /* FOC END */
1461
1462 hCodeError = PWMC_SetPhaseVoltage(pwmcHandle[M1], Valphabeta);
1463 FOCVars[M1].Iab = Iab;
1464 FOCVars[M1].Valphabeta = Valphabeta;
1465 FOCVars[M1].hElAngle = hElAngle;
1466 #if 0

```

Console Output:

```

<terminated> HaierDishWasherBoard Debug [STM32 Cortex-M C/C++ Application] ST-LINK (ST-LINK GDB server) (Terminated 2021-7-6 14:42:14)

Download verified successfully

Debugger connection lost.
Shutting down...

```

Build Analyzer Output:

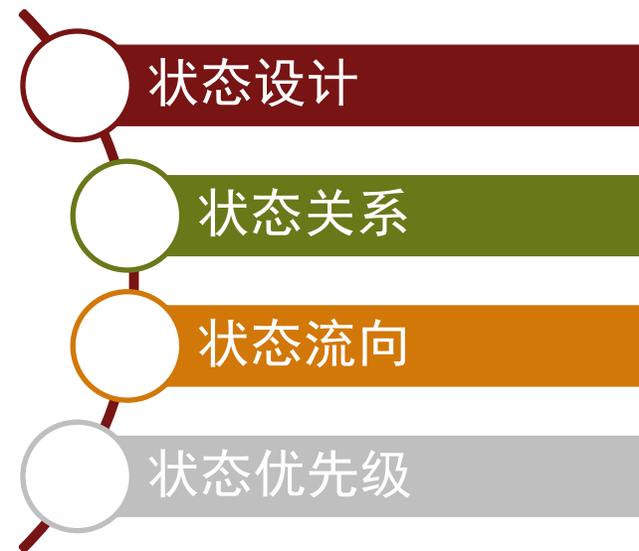
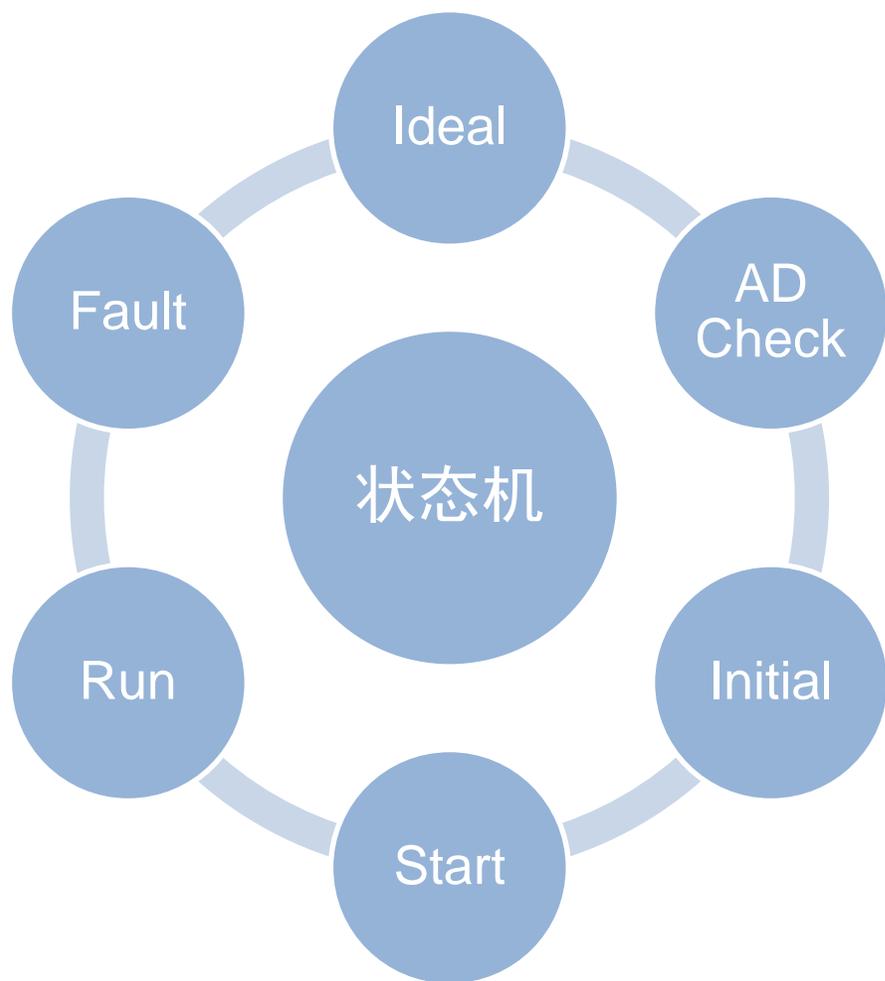
```

HaierDishWasherBoard.elf -
/HaierDishWasherBoard/Debug - 2021-7-6
14:27:19

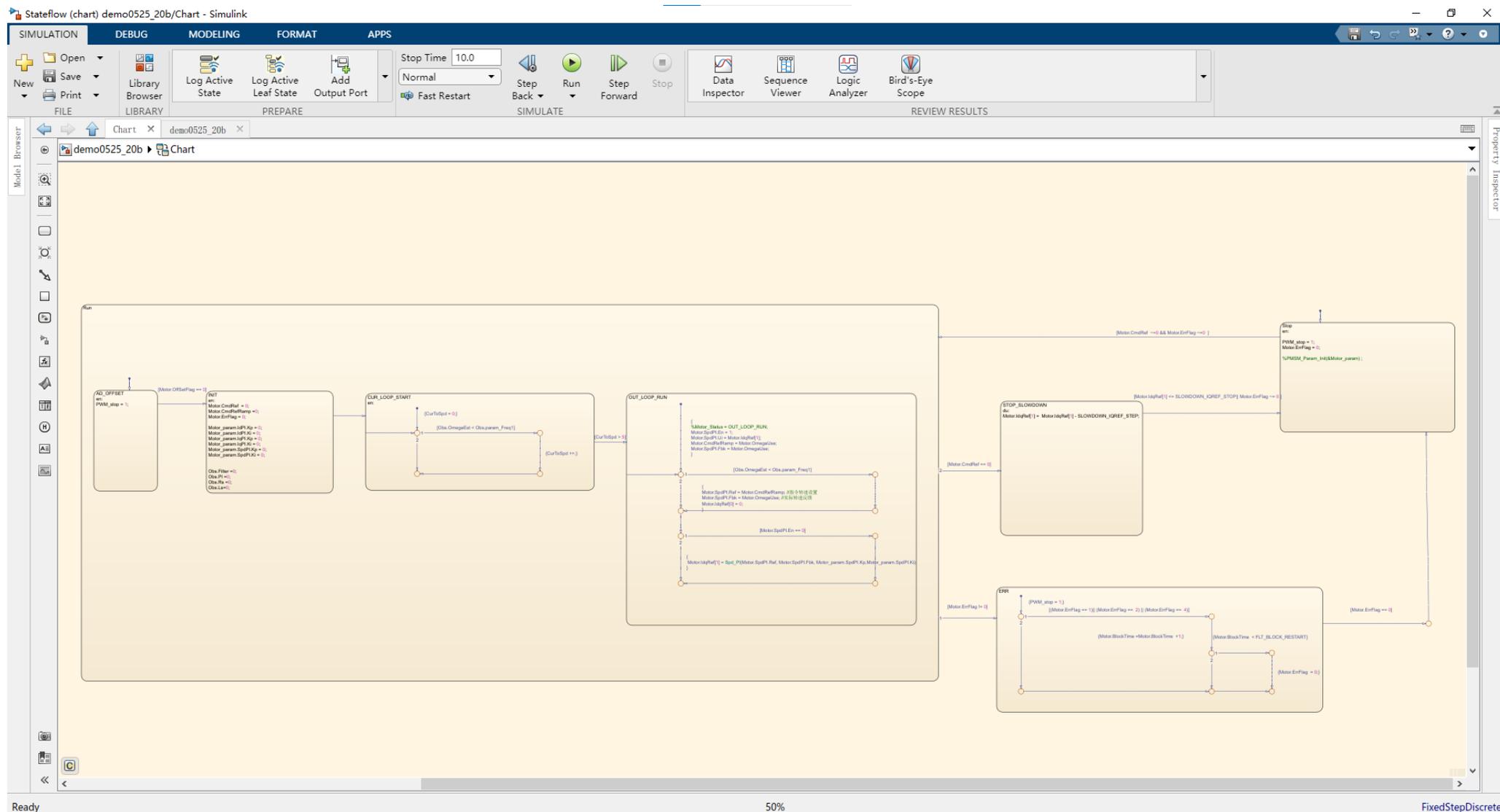
```

Region	Start addr...	End address	Size
CCMRAM	0x100000...	0x100020...	8 KB
PAM	0x200000...	0x200080...	8 KB

# 项目实施-上层调度逻辑算法建模

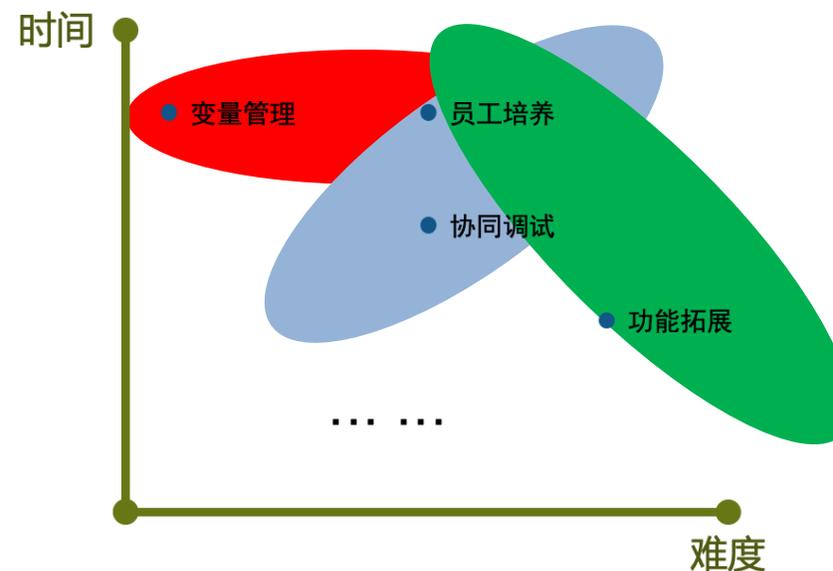
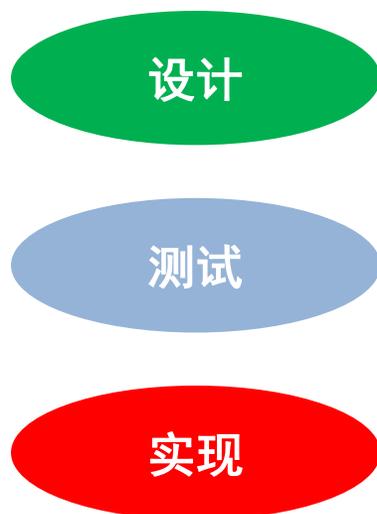


# 项目实施-上层调度逻辑算法建模



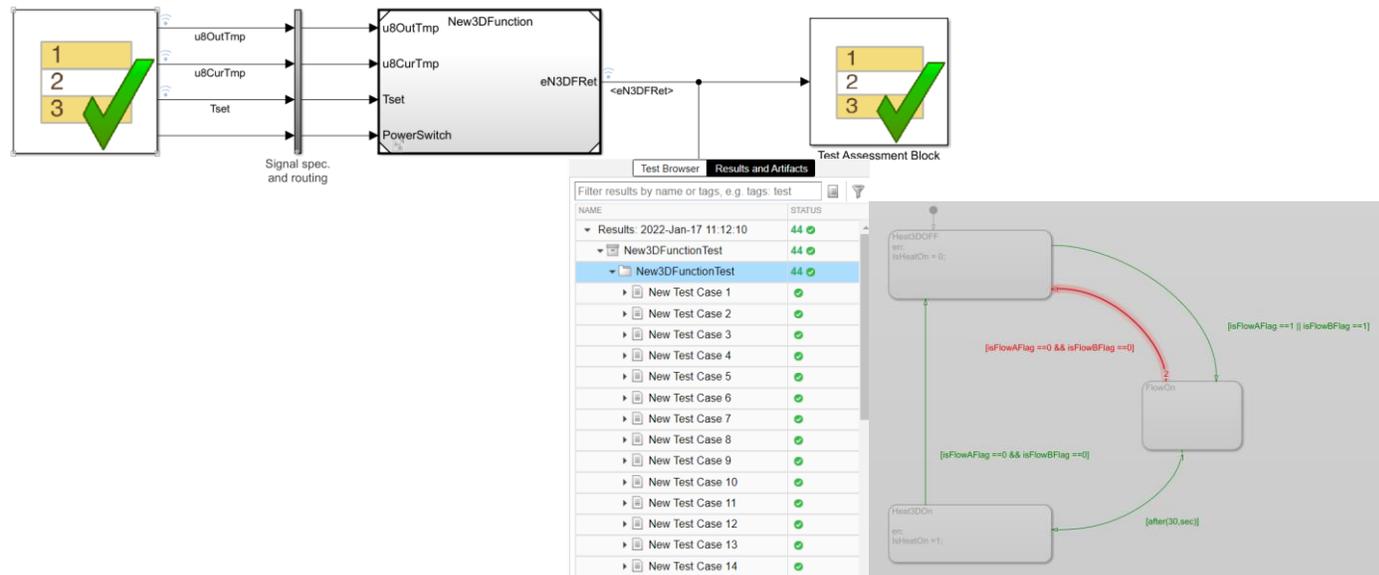
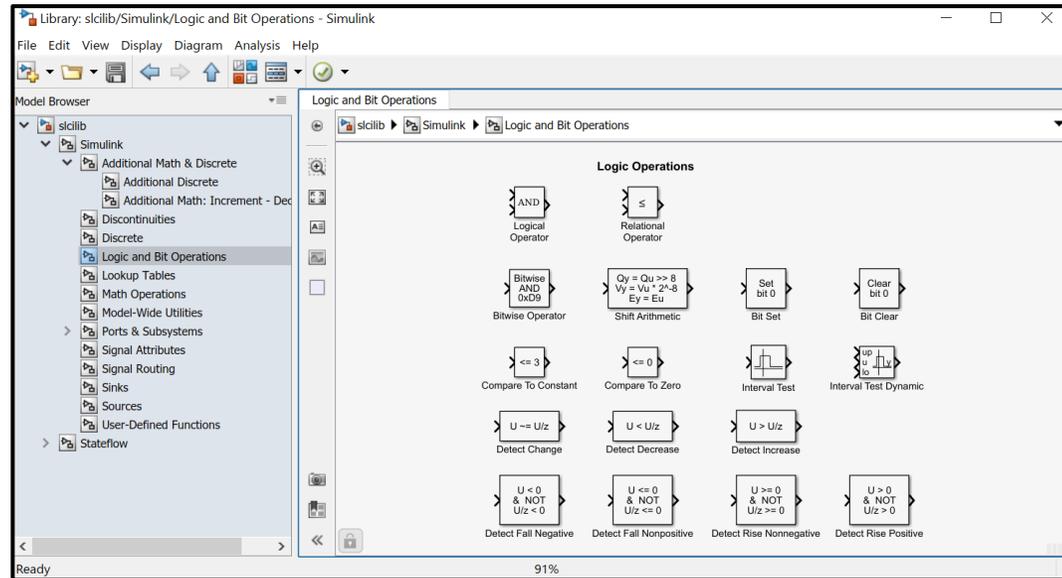
# 总结

研发周期活动	MATLAB 基于模型设计	传统手工代码开发
设计	通过交互式界面/模块执行，以可执行模型呈现 易于上手，设计 <b>无歧义</b> 随设计随仿真，设计 <b>结果实时查看</b>	通过公式/语言描述执行，以文档呈现 文档描述 <b>易歧义</b> 只能人为阅读校对，设计 <b>结果无法查看</b>
测试	<b>无需实现到硬件</b> 即可测试 <b>自动化</b> 构建、组织和执行 <b>自动化</b> 模型覆盖度测量	<b>必须要实现到硬件</b> 才能测试 <b>需要额外工具</b> 自动化测试 <b>需要额外工具</b> 收集模型覆盖度
实现	<b>自动化</b> C 代码生成， <b>避免</b> 手工编码错误 <b>较少</b> 工作量手动集成下载（可 <b>定制</b> 自动下载）	<b>需要人工评审检查</b> 手工代码错误 <b>完全</b> 手动集成与下载



# 项目展望-后续工作

- 基于变频控制系统匹配更多洗涤电机品类
- 新功能模型拓展，模块自定义选择
- 代码生成，重构软件架构
- 洗衣机系统建模及验证



# MATLAB EXPO

谢谢

