TAOTECH

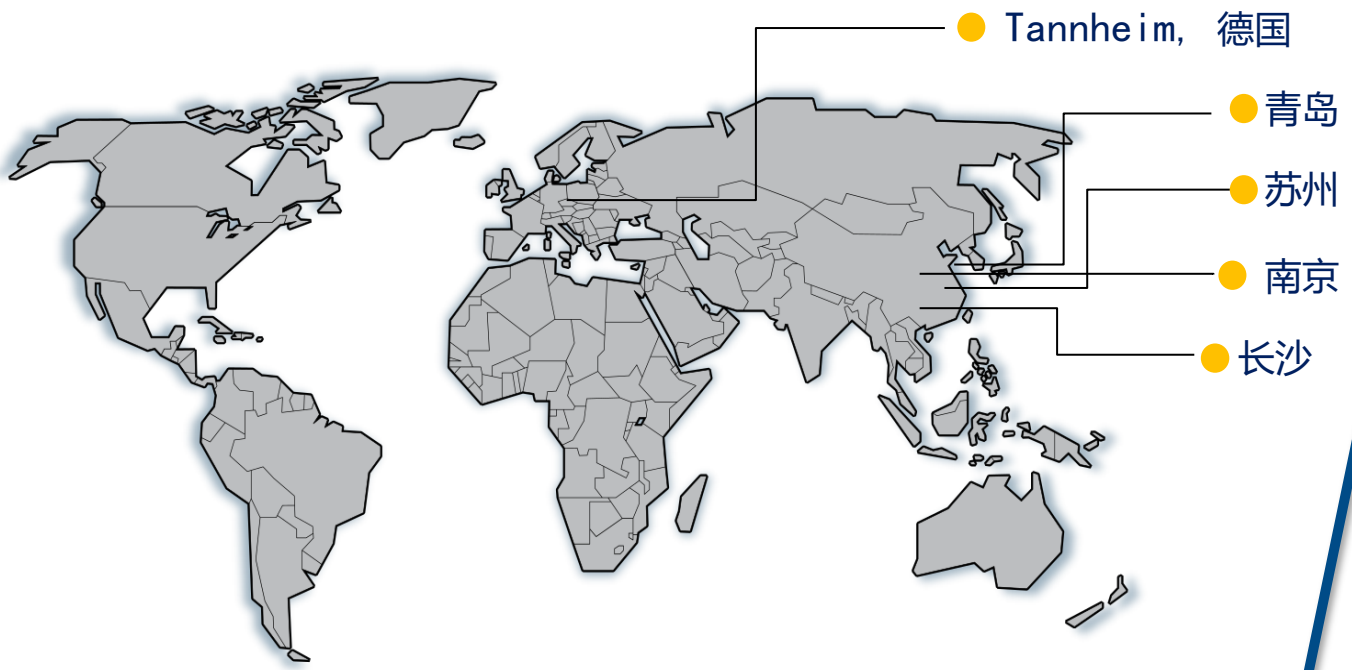
自动代码生成技术助力
国产工业控制系统智能化发展

隋振利, 道荏智远科技（青岛）有限公司

MATLAB EXPO

道苍智远简介

- 中国自主可控工控核心产品及方案供应商
- 国际市场自动化产品及数字化服务提供商



IT >15年 OT

核心高管：西门子+华为+爱立信
团队成员： 互联网、物联网、工控人才

国产 | PLC | IOT | 边缘 | AI

新能源国产化控制系统解决方案

煤矿自动化及物联网解决方案

海工国产化控制系统解决方案

国产化控制系统定制化开发

工业控制系统PLC发展历史

0G

1980年之前

继电器时代
无PLC
存硬件回路控制

2G

1980年-2000年

Modicon

莫迪康引领
PLC模块化和连接性发展
基本的逻辑控制
基本的慢速总线

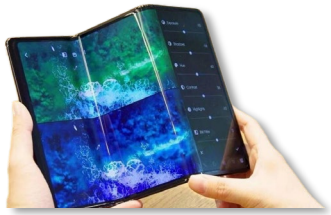
3G

2000年-2010年

SIEMENS

西门子引领
PLC大型化和高连接性发展
负责的逻辑控制
高速的现场总线

4G



2010年-2020年

BECKHOFF

倍福引领
基于X86架构的软PLC发展
复杂的运动控制
IT技术的融入
高速低抖动总线

5G

2020年-2040年

?

基于高运算、虚拟化、融合IOT技术、AI技术、开放、地代码编程、工艺模块封装的新发展趋势

中国工业控制系统开发挑战

行业现状与市场需求严重失衡

控制系统开发需求

快速交付

1. 缩短开发周期；
2. 缩短测试周期；
3. 降低交付成本；

模块化开发

1. 代码高度复用；
2. 多人协同开发；
3. 开发标准化；

智能化

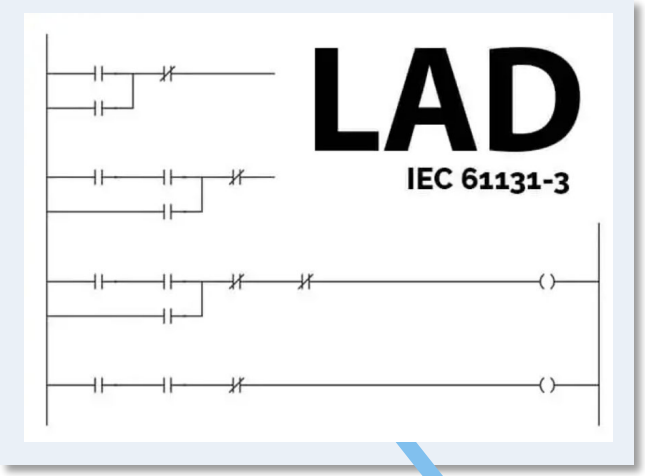
仿真与验证

1. 提升系统质量；
2. 降低失效率；
3. 降低测试成本；

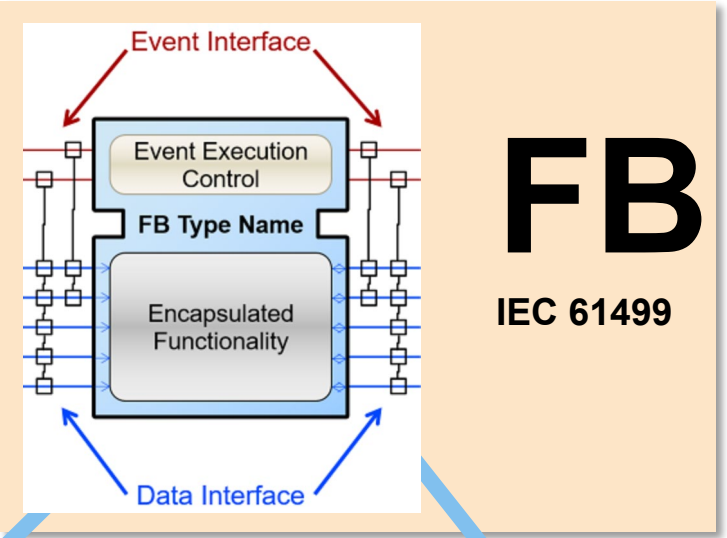
开发平台化

1. 降低对硬件依赖；
2. 软件定义系统；
3. 知识图谱显性化；

中国工业控制系统PLC开发趋势

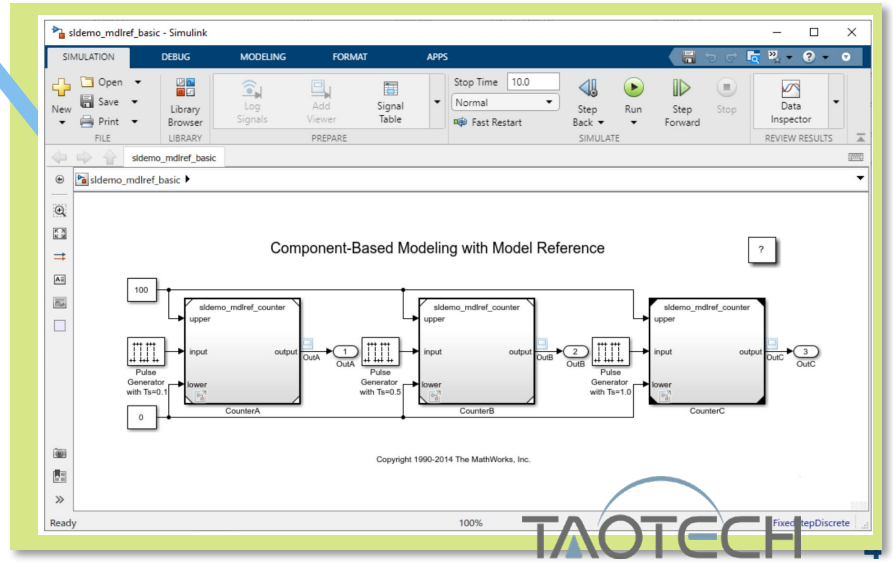


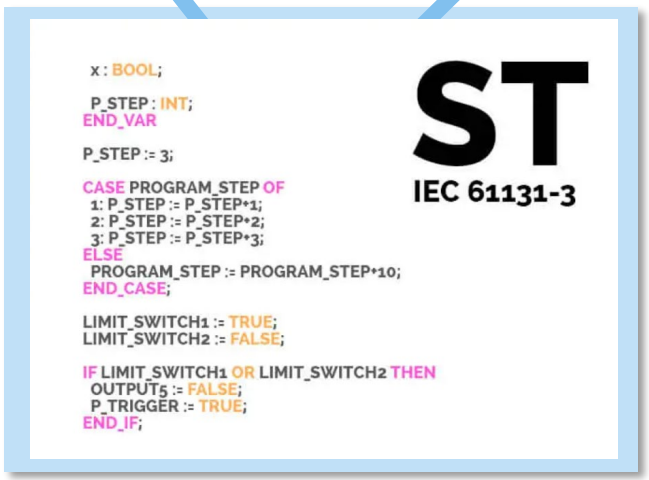
简单逻辑编程



高抽象模块化封装

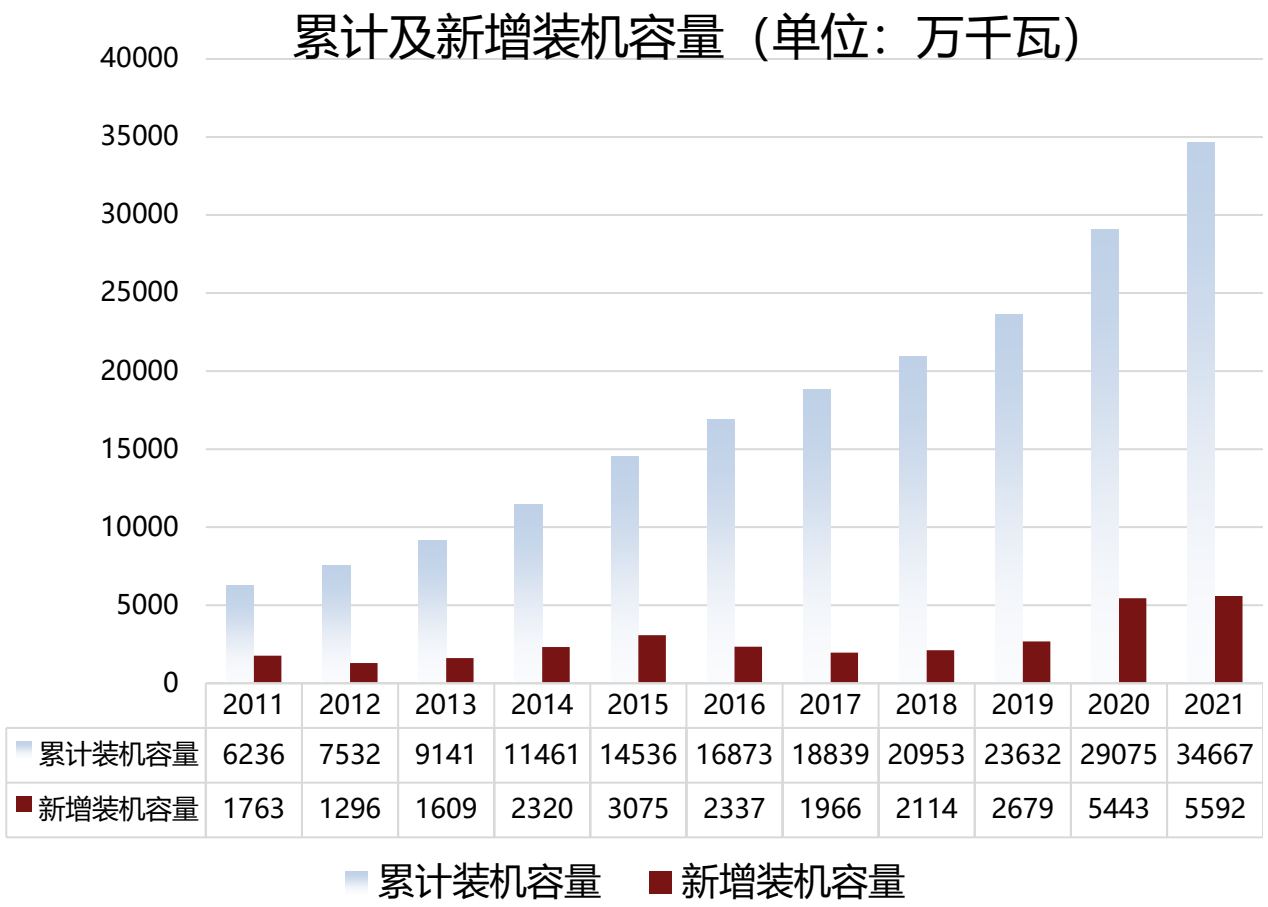
基于模型的代码生成



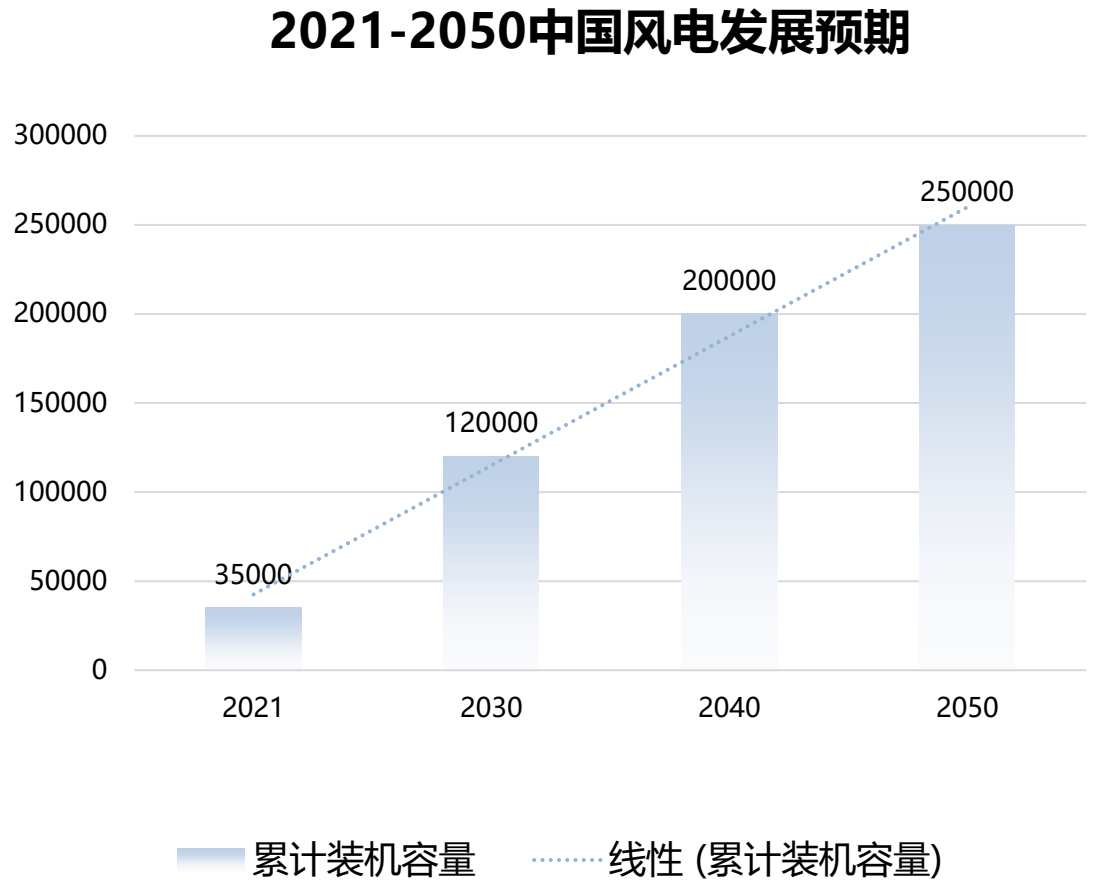


复杂逻辑编程

我国风电发展现状与展望



来源：《2021年中国风电吊装容量统计简报》，中国可再生能源学会风能专业委员会



来源：《中国风电发展路线图2050》，国家发改委能源研究所

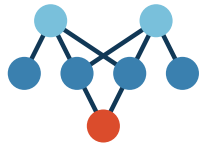
风电控制技术发展趋势

机组大型化

- 风机容量平均5MW；
- 陆上单台最大8MW；
- 海上单台最大16MW；
- 叶片尺寸最大直径＞200米；
- 塔筒高度＞100米；

机组多元化

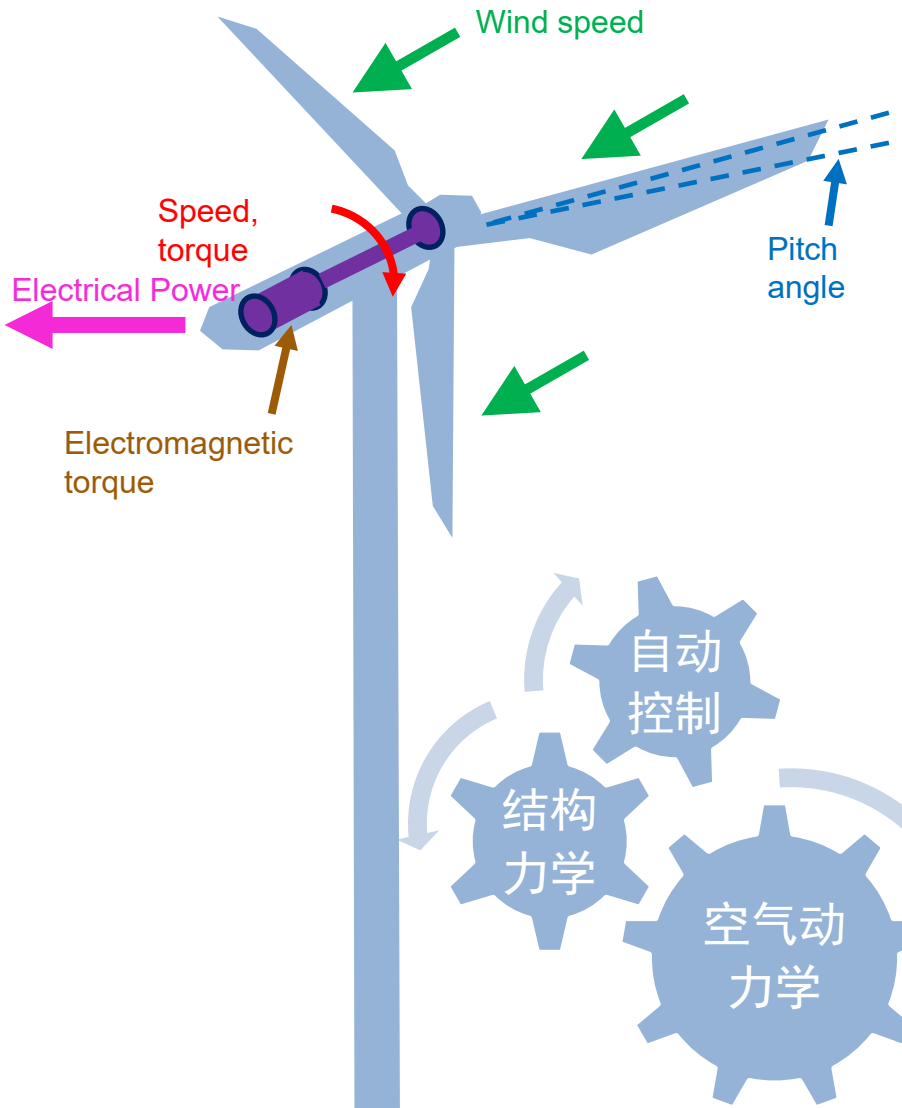
- 直驱、半直驱、双馈；
- 双叶片、三叶片、双机头；
- 陆上、海上、滩涂、沙漠；
- 直塔、柔塔、混塔；
- 低压、高压、中压；



智能化

- 风电场群控；
- 激光雷达前馈；
- 智能传感；
- 预测维护；
- 机器学习；

风电控制系统主要功能



变桨控制
- 恒速控制
- 功率调节
- 气动刹车

偏航控制
- 偏航对风
- 偏航解缆

液压控制
- 压力供给
- 偏航刹车
- 主轴刹车

风电控制系统

机组运行控制
机组状态监测
机组安全保护

变流控制
- 并网控制
- 有功、无功调节
- 励磁控制

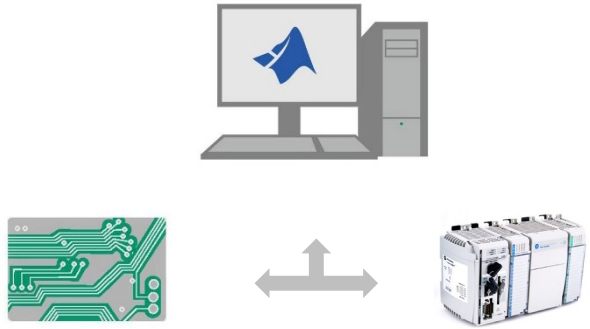
状态监测
- 振动监测
- 电网监测
- 温度检测
- 风信号监测

安全保护
- 超速、振动等
- 故障报警

风电控制系统平台化开发

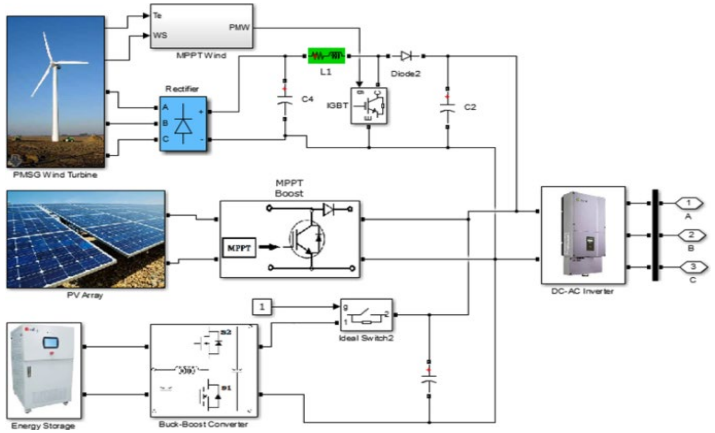
风机状态监测预测性算法

代码部署和HIL测试

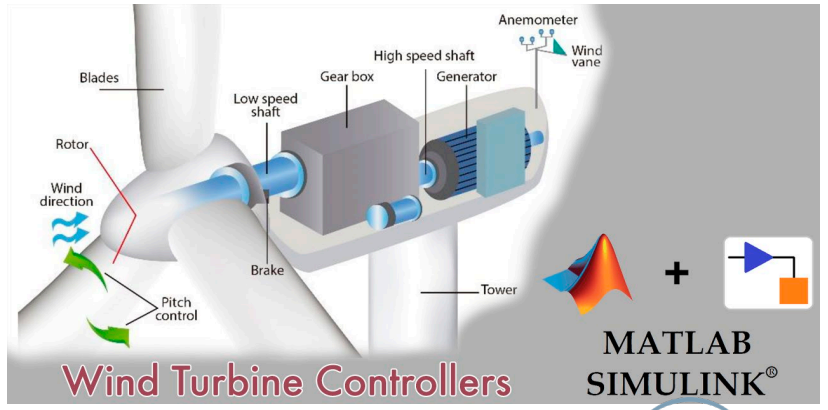


新能源控制系统平台化开发

微电网综合能源系统仿真平台



风机及主控算法模型



基于Simulink的风机控制平台

Simulink风速模型

Simulink风机模型

Simulink算法模型

Stateflow状态机

仿真结果分析

Simulink Coder

Embedded Code

Target Language Compiler

Taotech.tlc

Source Code

MakeFile

国产ARM

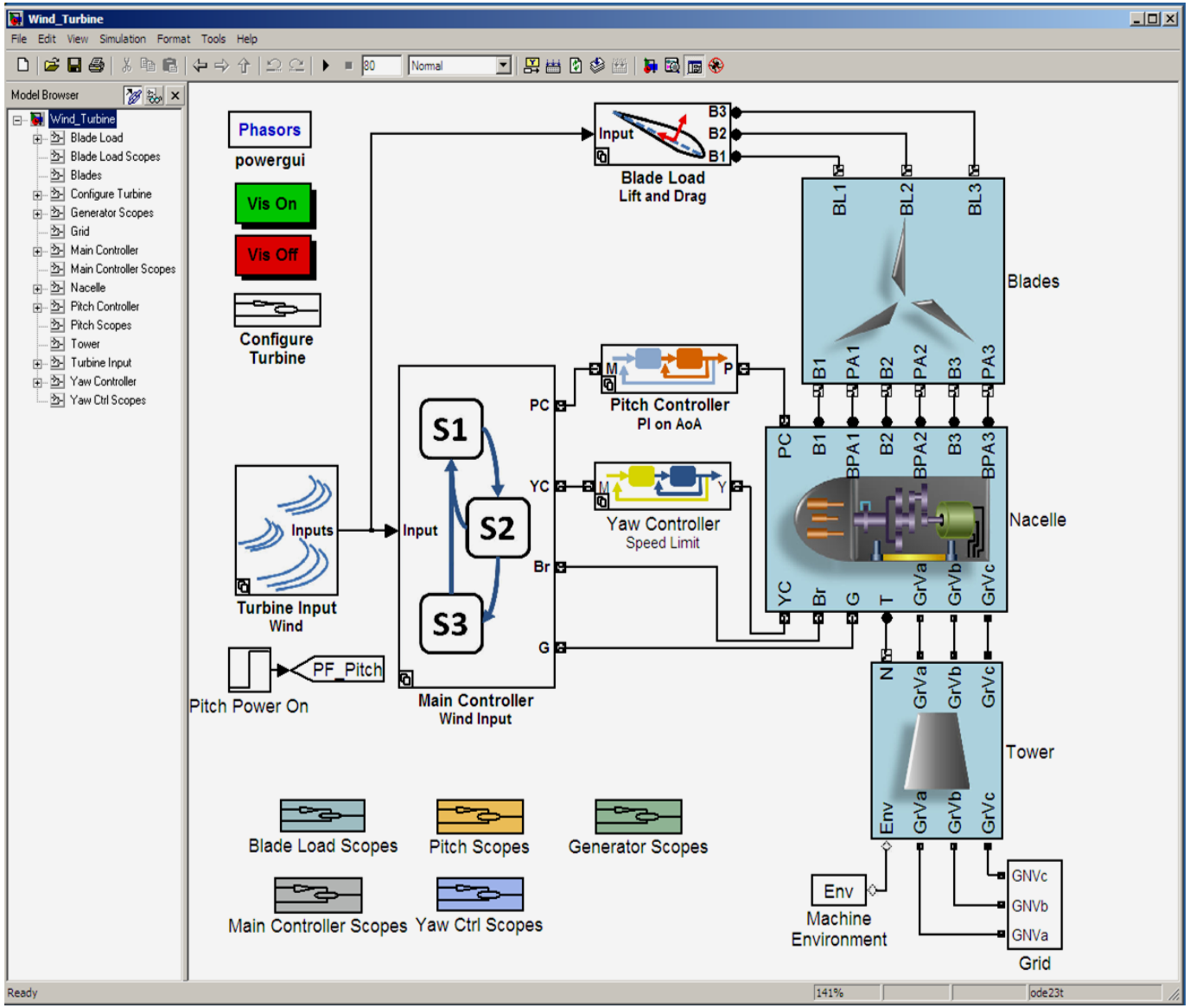
国产龙芯

SO文件

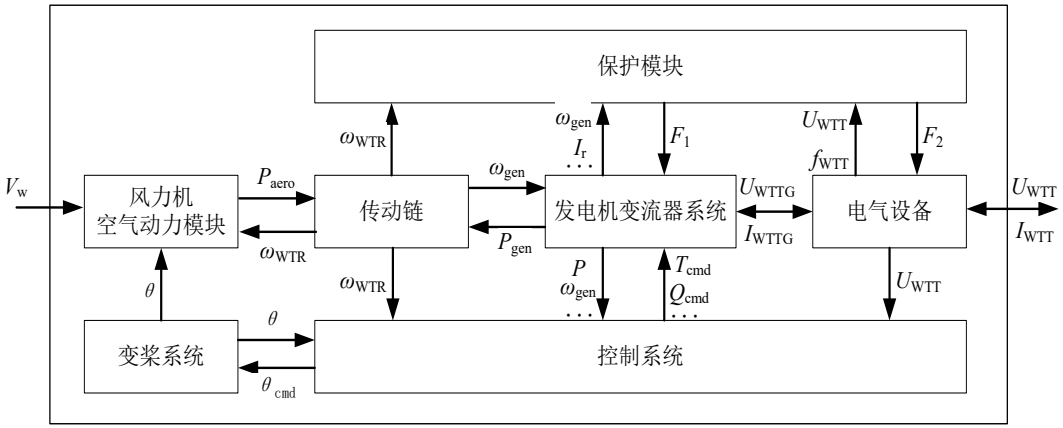
Lib库文件

ST调用块

Simulink风机仿真模型-风机建模

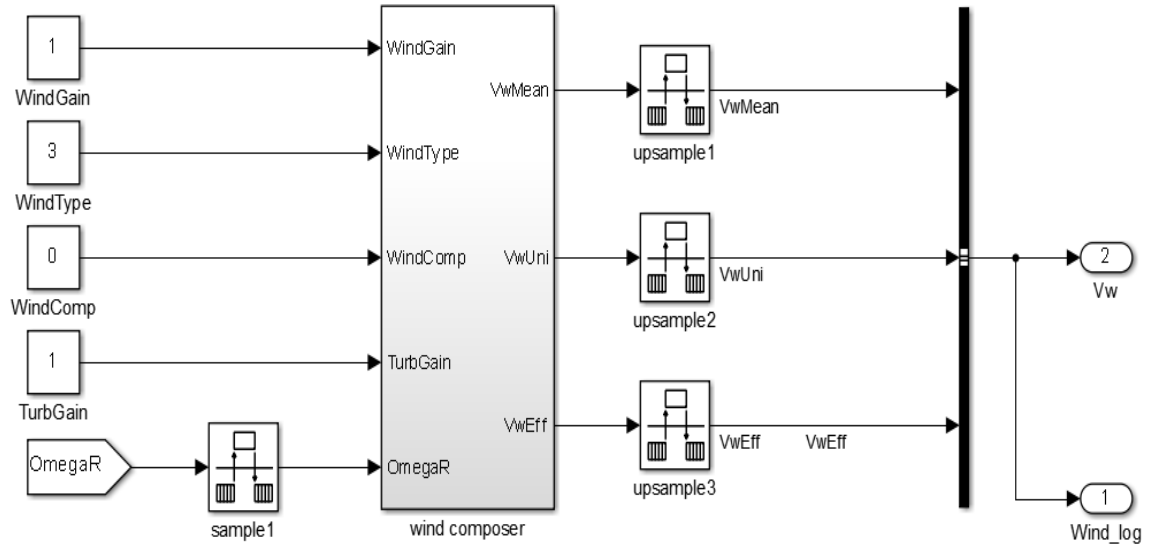


风电机组基本结构建模

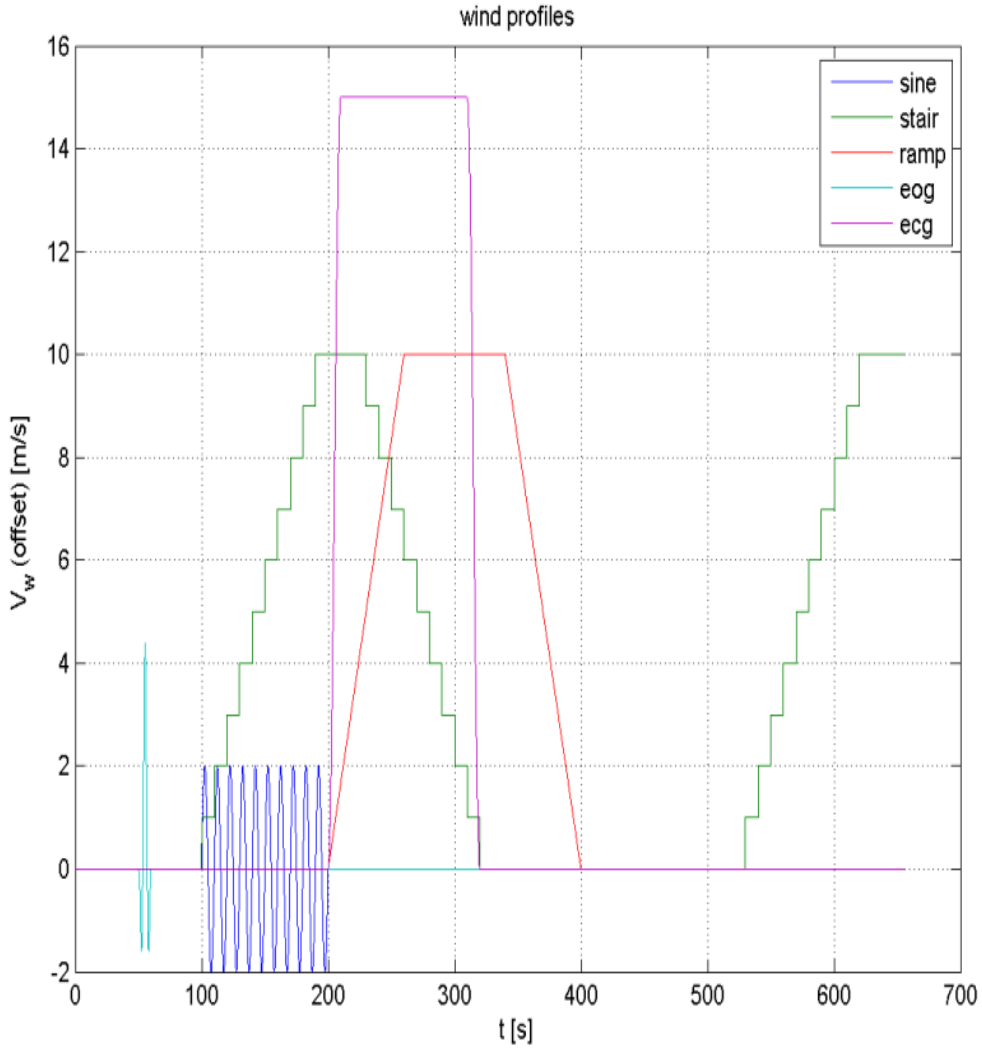


- 风电机组从控制系统的角度来看可以分为以下子系统：风模型、风轮、传动链、发电机、变流器、变桨机构和主控系统

Simulink风机仿真模型-风速模型



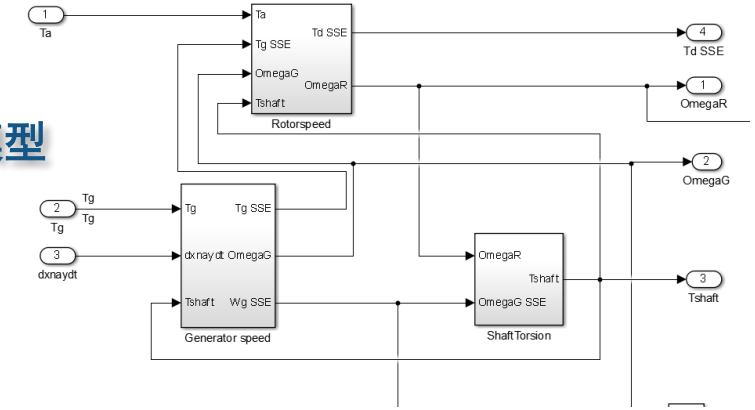
WindGain: Mean wind speed scaling relative to rated wind speed (>1 full load; <1 part load average wind)
WindType: 0:No, 1:Real, 2:Staircase test, 3:EOG, 4:ECG, 5:Ramp, 6:Sine
WindComp: 0:No, 1:0p, 2:nBp, 3:nBp+tow+shr



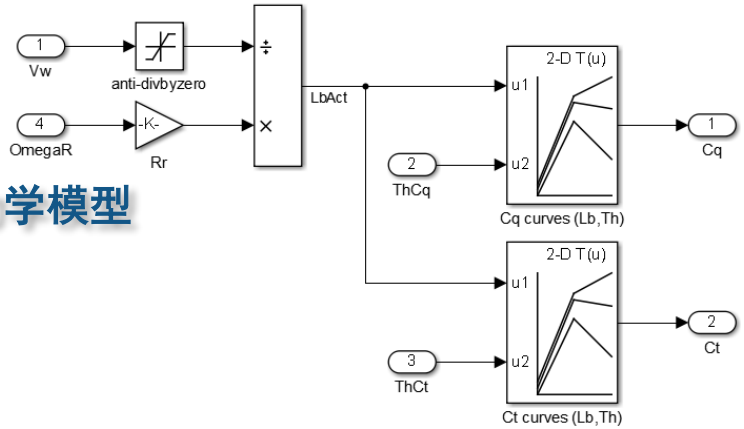
- Ramp：缓慢变化风。
- Stair：阶梯风，模拟风速阶跃式变化，考量控制算法工作持续性。
- Sine：正旋风，模拟风速忽大忽小的变化过程，考量控制算法的工作稳定性。
- Eog：短时瞬态大风，考量风机正常运行状态下的抗干扰性。
- Ecg：长时极端大风，考量风机正常运行状态对极端情况的稳定性。

Simulink风机仿真模型-子模块模型

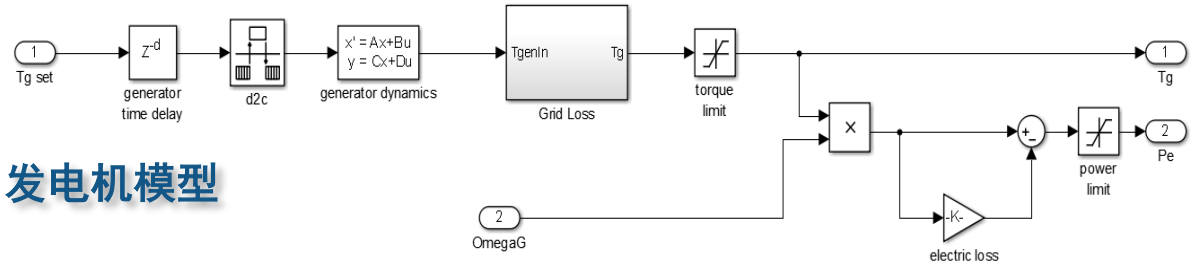
风机旋转模型



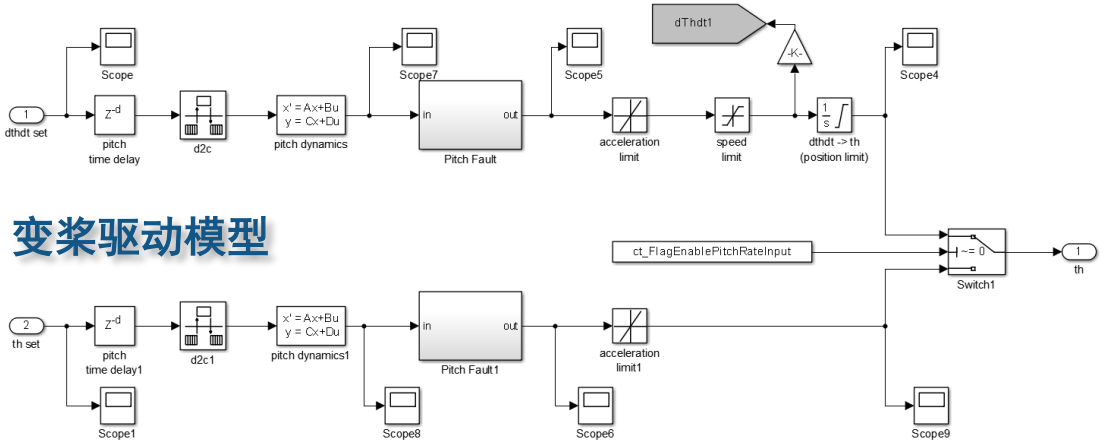
叶轮空气动力学模型



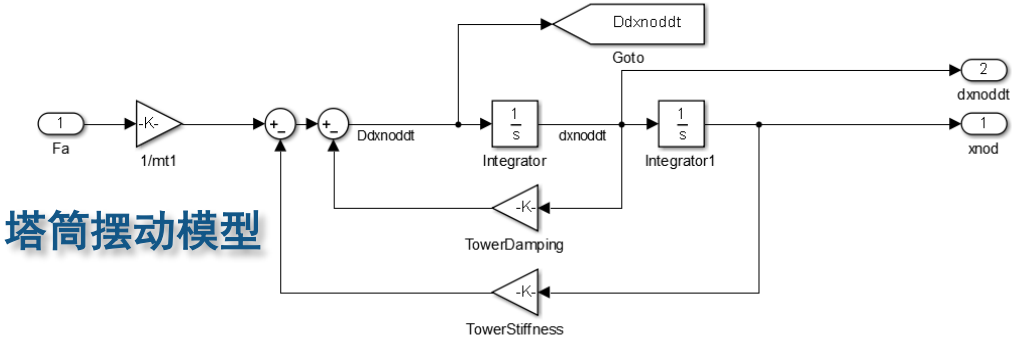
发电机模型



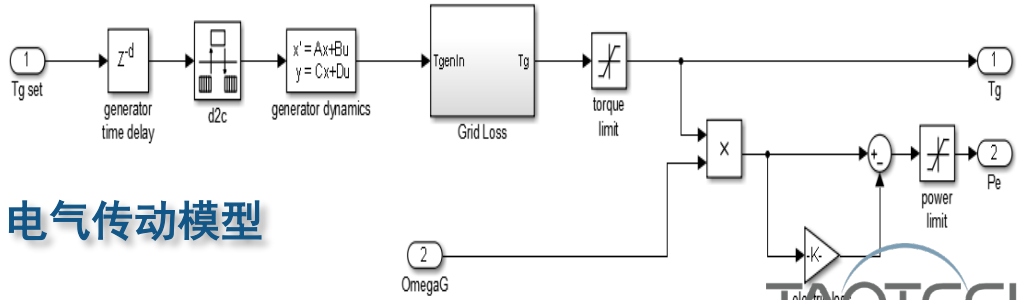
变桨驱动模型



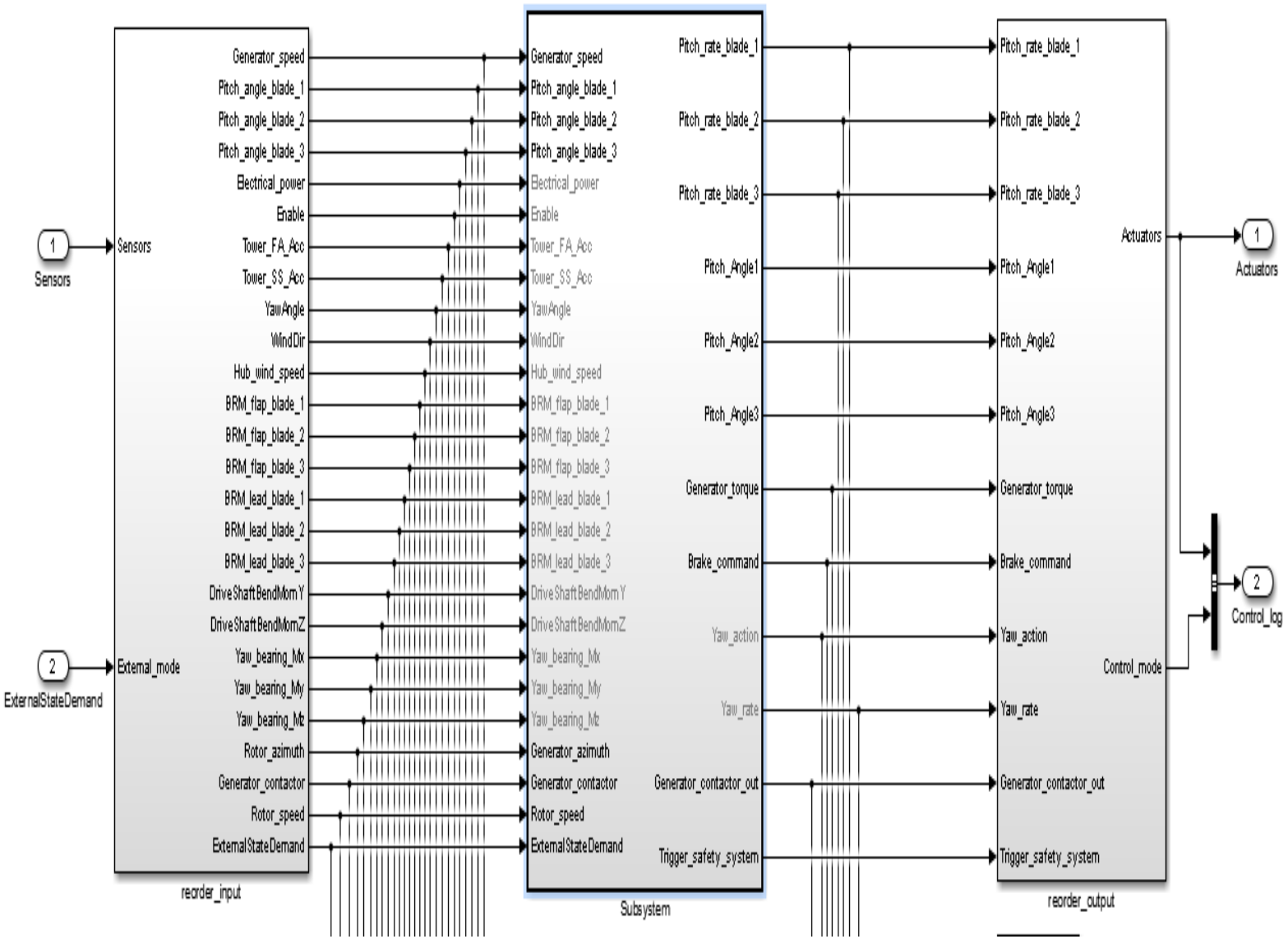
塔筒摆动模型

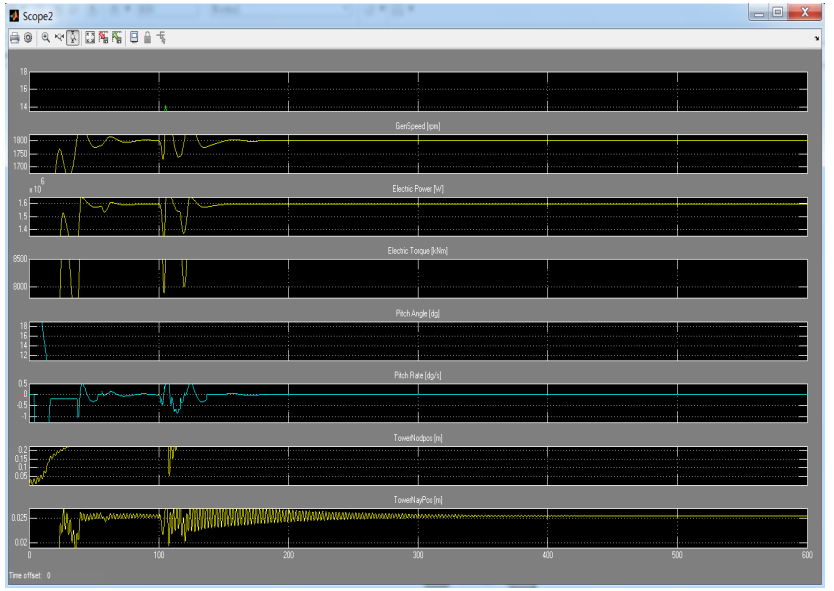


电气传动模型



Simulink风机仿真模型-控制算法模型



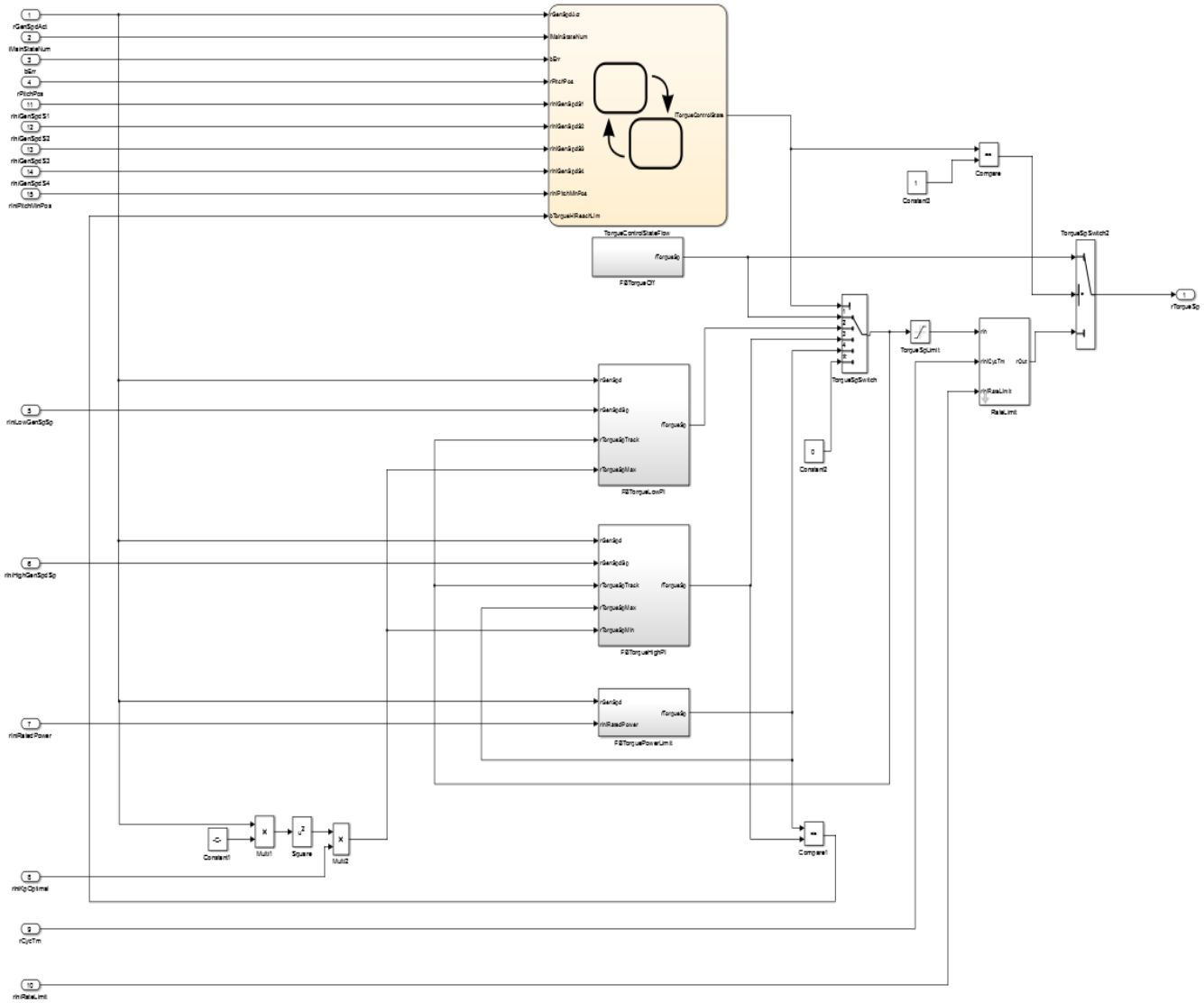


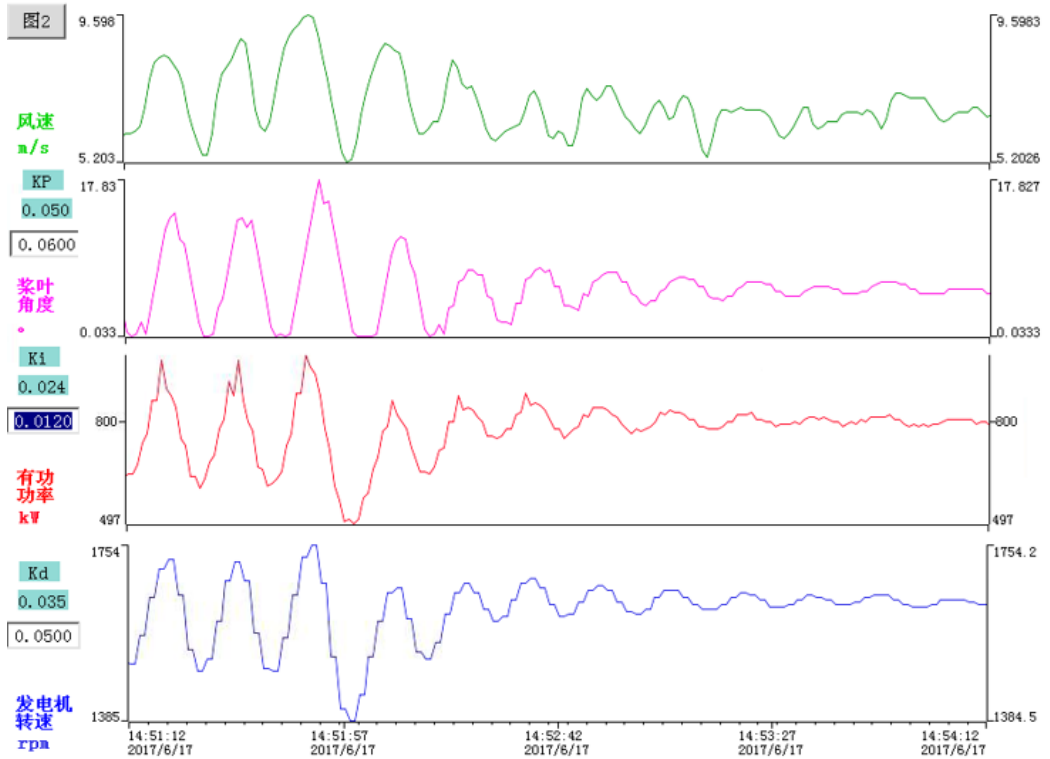
基于MIL在环仿真的方式实现控制器算法仿真

- 转速波动和干扰叠加如何进行剔除；
- 如何提高风机发电量；
- 如何优化功率曲线；
- 如何防止超速情况的发生；
- 如何保持额定功率的限制。

Simulink风机仿真模型-Stateflow状态机

转速和转矩控制





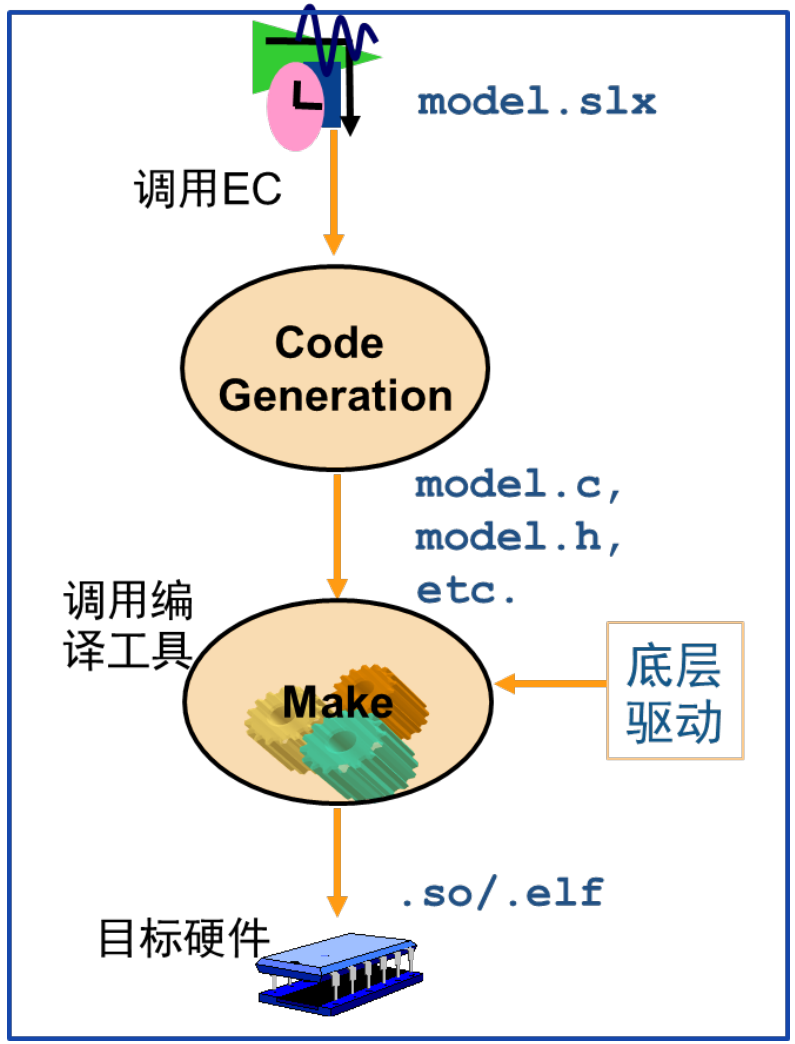
- 根据风力发电机当前转速和额定转速的差值调节变桨角度；
- 调节过程基于智能分段及经验PID控制算法；

一键代码生成、编译

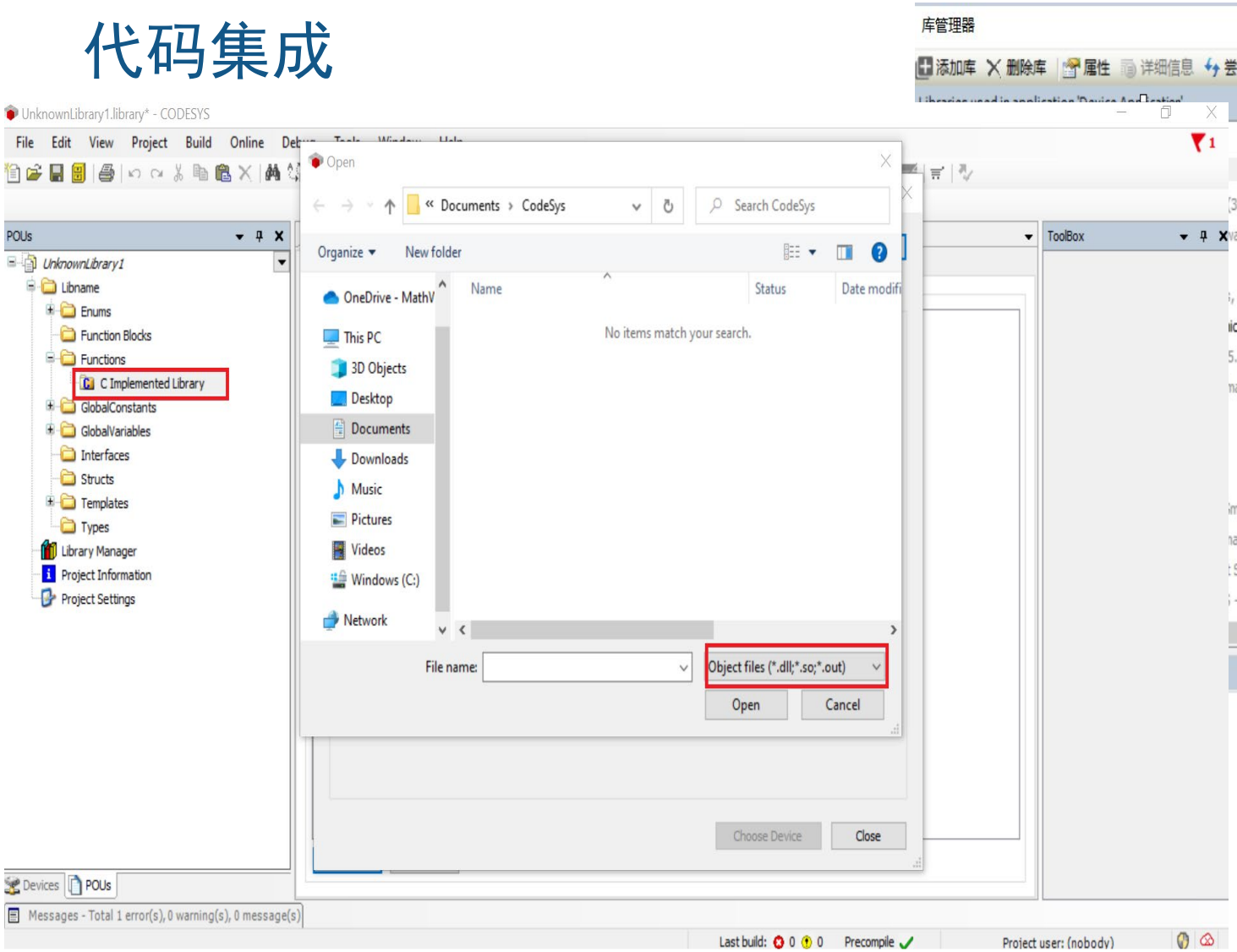
```
### Code generation artifacts for 'test' were unpacked from 'C:\MyWork\Projects\P14086-TaoTech\Work\Tao_target_for_Simulink
### Starting build procedure for: test
### Generating code and artifacts to 'Model specific' folder structure
### Generating code into build folder: C:\MyWork\Projects\P14086-TaoTech\Work\Tao_target_for_Simulink\results\test_ert_rtw
### Generated code for 'test' is up to date because no structural, parameter or code replacement library changes were found
### Using toolchain: Linaro Toolchain v4.8
### 'C:\MyWork\Projects\P14086-TaoTech\Work\Tao_target_for_Simulink\results\test_ert_rtw\test.mk' is up to date
### Successful completion of code generation for: test

Build Summary

0 of 1 models built (1 models already up to date)
Build duration: 0h 0m 12.672s
```

```
C:\MyWork\Projects\P14086-TaoTech\Work\Tao_target_for_Simulink\results\test_ert_rtw>cd .

C:\MyWork\Projects\P14086-TaoTech\Work\Tao_target_for_Simulink\results\test_ert_rtw>if "" == "" ("C:\PROGRA~1\MATLAB\R2022b
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"test.c.dep" -MT"
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"ext_svr.c.dep" -
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"updown.c.dep" -M
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"ext_work.c.dep"
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"rtiostream_utils
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"linuxinitialize.
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"rtiostream_inter
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"rtiostream_tcpip
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -c -MMD -MP -MF"ert_main.c.dep"
"### Creating shared library "../test.so" ..."
"C:/PROGRA~3/MATLAB/SUPPOR~1/R2022b/3P778C~1.INS/LINARO~2.INS/bin/arm-linux-gnueabihf-gcc" -shared -lm -lrt -lpthread -ldl
"### Created: ../test.so"
"### Successfully generated all binary outputs."

C:\MyWork\Projects\P14086-TaoTech\Work\Tao_target_for_Simulink\results\test_ert_rtw>exit /B 0
```

Name	Git	Date Modified
Folder		
slprj	·	2023/1/13 18:03
test_ert_rtw	·	2023/1/13 18:03
Simulink Cache		
test.slxc	○	2023/1/13 18:03
SO File		
libtest.so	●	2023/1/13 18:03



代码集成



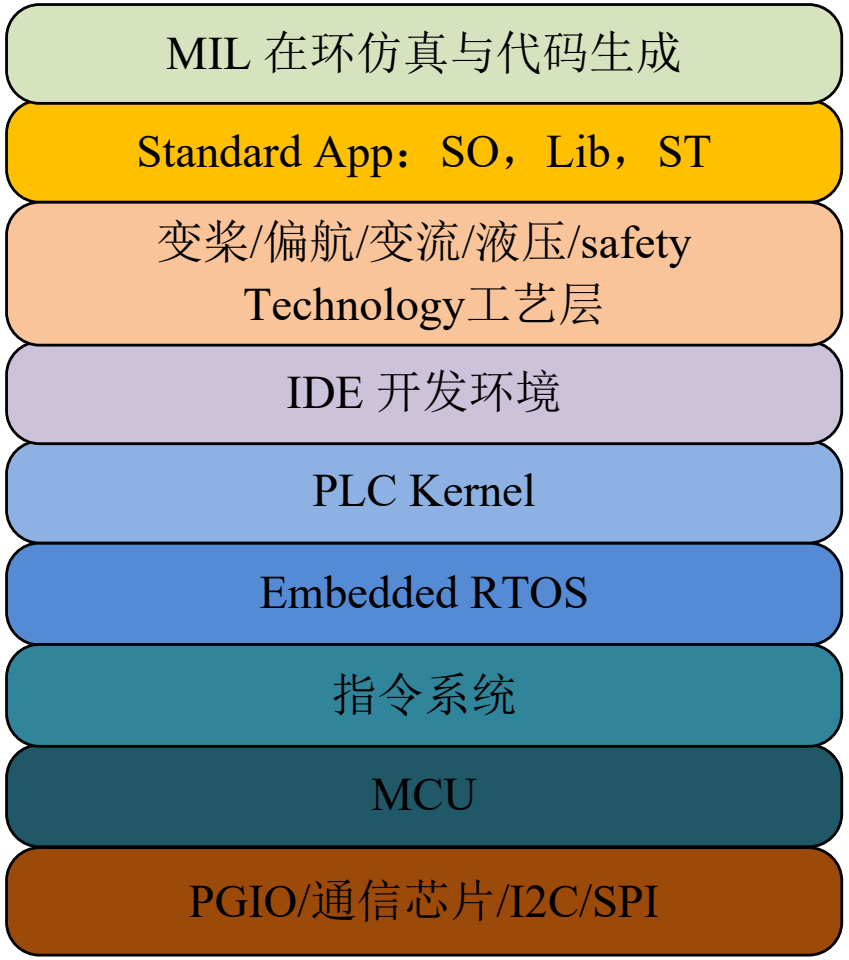

```
PROGRAM prgPitchPIDController
VAR

PitchController:TaotFan.PitchPIDController;

    Pitch_GearRatio : REAL;
    Pitch_RatedGenRpm : REAL;
    Ki:= 750050, //750050//375025
    Kd:= 1410000,
    PitchSpeedLimit:= 700,
    PitchPositionLimit:= 0,
    PitchPositionPark:= 8800,
    ResetPID:= 0,
    NominelRotorSpeedRad=> Pitch_NominelRotorSpeedRad,
    RotorSpeedRad=> Pitch_RotorSpeedRad,
    RotorSpeedRadSP=> Pitch_RotorSpeedRadSP,
    PIDError=> Pitch_PIDError,
    PID_p=>Pitch_PID_p ,
    PID_i=>Pitch_PID_i ,
    PID_d=>Pitch_PID_d ,
    PID_d_out=>Pitch_PID_d_out ,
    PIDOut=>Pitch_PIDOut ,
    IntegralClampDiff=>Pitch_IntegralClampDiff ,
    AngleSetPoint=>Pitch_AngleSetPoint ,
    HighRpmLog=>Pitch_HighRpmLog ,
    IntegralClampDiffFlag=>Pitch_IntegralClampDiffFlag ,
    LastPIDError=>Pitch_LastPIDError ,
    PreIntegrator=>Pitch_PreIntegrator ,
    LastAngleSetPoint=>Pitch_LastAngleSetPoint );
    Pitch_AngleSetPointSP:=DINT_TO_REAL (Pitch_AngleSetPoint)/100;
    g.rPitchPosSp:=Pitch_AngleSetPointSP;
```

1、将MATLAB算法编译成动态链接库（DLL）或共享库（SO），以便在CODESYS中调用；

2、其次在CODESYS中创建一个调用MATLAB算法的库（library），用FUN（Function,函数）方式调用MATLAB编译好的库文件中的算法

基于Arm的控制系统架构

- 支持基于MBD的开发模式；
- 提供风电核心控制工艺包；
- 提供自动化开发平台及中间件；
- 提供工业级运行时系统的实时内核及各种软协议栈；
- 支持ARM/x86/开源RISC-V/LoongArch等CPU架构；
- 提供基于进口芯片/全国产芯片的硬件系统；



案例分享

项目名称：宁夏XX国产风电控制系统

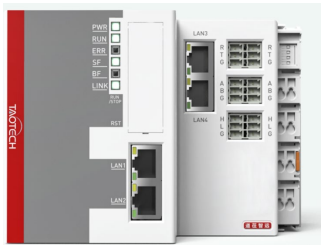
项目描述：响应国家发改委针对电力系统控制国产化的要求，并提升发电机组的使用率和发电量，优化老旧机组的运行状况。

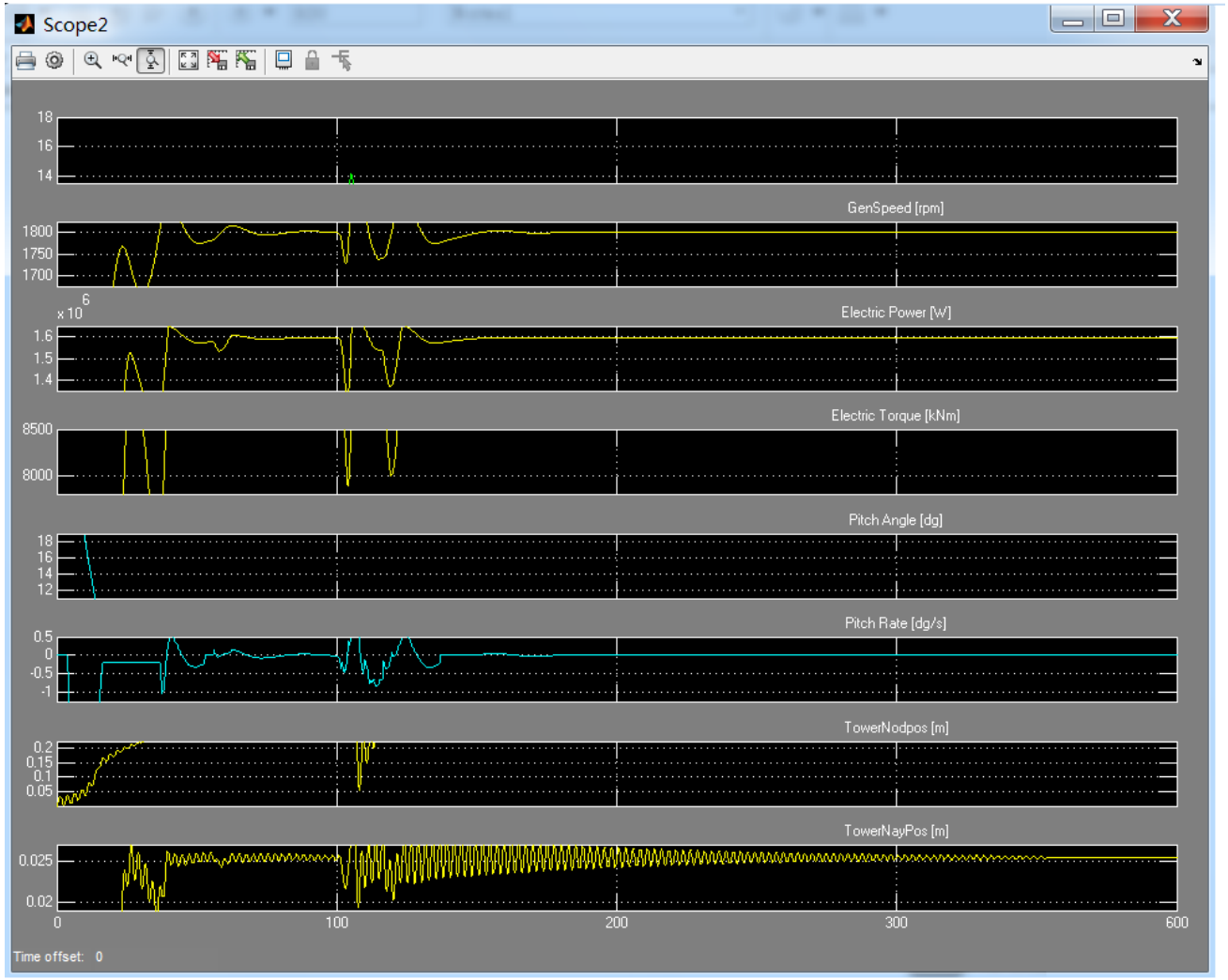
解决方案：使用道莅全套国产解决方案，采用MATLAB Simulink建模及混合编程，并通过模块自动代码生成，生成国产芯片平台的运行代码。

案例分享

项目名称：宁夏XX国产风电控制系统

进展：所开发系统成功在2MW风机上实现并网发电，发电量提升5%，采用模块化的开发方式缩短了50%开发周期。





总结

- MATLAB/Simulink为新能源领域提供了丰富的功能组件，大大提升控制系统开发效率，降低开发门槛。
- 采用Lib开发模式更好的适应团队项目
- 基于Simulink代码生成技术生成高效可靠产品级代码，加速项目迭代，助力国产下一代智能控制系统架构开发
- Simulink帮助客户打通IT技术和OT技术，助力工控客户数字化开发转型

MATLAB EXPO

Thank you