



Typhoon HIL.

SWISS  QUALITY

电力电子HIL仿真与测试系统



**Typhoon HIL, Inc.**是一家以技术为主导，专注于电力电子仿真与测试的领军企业。其自主研发的**Typhoon HIL系统**，为从事电力电子系统研究和设计的工程师在一个系统（平台）上实现工程项目的设计、实时仿真、验证、实时测试提供了全套解决方案。



**Typhoon HIL System**在硬件平台上不用任何改变即可对模型重复利用；对设计测试套件模型进行重复使用以验证目标系统；将透明模型完全集成到目标硬件中，并创建一个系统的，快速的流程，将自动生成的代码集成到目标硬件，从而使得控制工程师无需软件工程师的参与，即可以快速测试被测系统，同时快速获得测试报告。

- ▣ 提供完整的电力电子模型！故障覆盖率测试！低成本, 无需第三方工具！提供500ns-1 $\mu$ s仿真步长！
- ▣ 适用于电力电子控制，SVC控制器，并网型的逆变器/变流器控制器，发电机励磁控制，有源滤波器、牵引、电机驱动器、光伏变换器等仿真测试应用。在上述仿真与测试中Typhoon HIL system能够缩短开发周期，降低开发费用和技术风险。
- ▣ 应用领域：可再生能源、工业自动化、交通运输、研究和教育等。
- ▣ 产品家族：HIL400系列、HIL600系列、HIL Connect接口箱、HIL DSP接口板以及HIL软件套件。

## 主要功能

- 适用于电力电子控制，SVC控制器，并网型的逆变器/变流器控制器，发电机励磁控制，有源滤波器、牵引、电机驱动器、光伏变换器等仿真测试应用；
- 实时仿真测试高速高开关频率的直流和交流电机驱动等；
- 可实时仿真测试非常复杂的多驱动系统；
- 可对大型电力系统模型并行分布式仿真；
- 提供丰富的元件库，带有不同类型电机的电机驱动库及多级功率转换器模型等；
- 提供强大的波形分析工具，通过稳态分析、控制分析等诸多有意义的波形工具，实现了准确的仿真结果；
- 自带功能强大的“示波器”，仿真过程中实时观察仿真结果；
- 提供故障诊断、故障注入等测试；
- 仿真数据在线显示、存盘记录以及进行离线分析；
- 基于FPGA的高速IO板卡(AD/DA、静态DIO、PWM、编码器、旋变信号等)；
- 专业、操作简单的GUI图形化软件套件，与模型实时交互，并支持在线调参、监控等；
- 实用的测试用例编辑环境，提供Python测试脚本；
- 提供HTML报告自动生成。

## 完备模型库

- 标准无源器件（电感、电阻、电容）；
- 可编程模块（电压和电流）；
- 控制模块，太阳能电池板，燃料电池；
- 触发器（1-, 2-,3-交流电）；
- 逆变器(2-level), 整流器(single-phase, 3-phase)；
- 电机模型（永磁同步、交流异步、开关磁阻、直流无刷等）；
- 太阳能电池板和电池模型；
- 故障注入模型(hard- and soft-faults)；
- 用户定制研发模型。



## 核心优势

- 独创的模型分割技术，有效的提高仿真精度以及系统资源的优化；
- 仿真结果的重新回放。任意时间点以及在该点上的状态和均可追溯，也包括层次化模型内部的动画，信号，以及电路的工作状态；
- 软硬一体化平台，自带建模软件工具，无需单独采购第三方建模工具，有效节约成本；
- 系统支持多仿真节点，能够胜任大系统联合仿真；
- 基于多核处理器平台+FPGA的高精度模型仿真，仿真步长更可达500ns；
- 基于FPGA的高速IO板卡，可处理高速AD/DA、静态DIO、PWM、编码器、旋变信号等；
- 系统扩展能力强，计算资源及IO资源均可方便的增加；
- 模型可以根据客户要求定制，提供交钥匙工程服务。

## 行业先驱纷纷选择Typhoon HIL



*"Typhoon HIL equipment enables us to qualify the performance of PV inverter before AIT invests significant time and effort in the laboratory - in this way it increases the overall capacity of our laboratory and saves money on our and our customer's side."*

Georg Lauss, Energy Department - EES Electric Energy Systems



### HIL测试市场的领导者

行业先驱们依靠Typhoon HIL测试解决方案帮助他们不断开发出市场尖端产品。

无论是升级2、3-level智能变换器的性能，还是引进4、5-level智能变换器设计，或在高功率系统中并入大量的变换器，Typhoon HIL均能提供完美的解决方案。

Typhoon HIL经验丰富的技术人员能为您提供技术培训并开发自定义接口硬件，以使您的HIL系统发挥出最大功效。

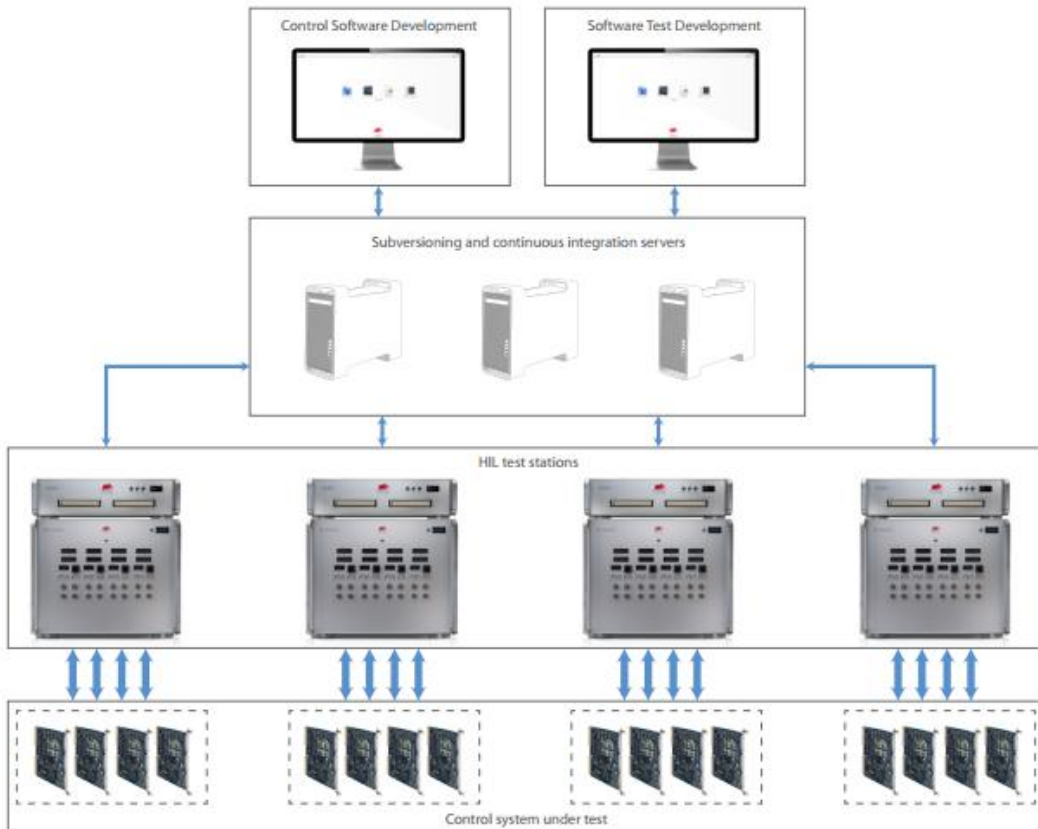
### 集成化测试环境

在一个集成而易用的软件环境下，您将得到模型、I/O接口和测试程序，满足您所有的变换器测试需求。比如：

- PWM开关频率高达200kHz
- 支持并行变换器测试
- 测试序列的图形编程
- 符合测试标准（依据BDEW, FGW、IEC、VDE、EN、IEEE等）

## 逆变器控制器的自动化测试

实现项目性能的显著提升和工程周期的有效缩短



### 回归测试

项目系统的任何变化，如新的功能、性能提升、补丁或配置的变化，均可能在本地或软件的其他部分产生意想不到的故障。

Typhoon HIL能“真实”提供项目系统日常运行的所有操作环境，并完全自动化地实现对控制器软件/硬件/固件的综合测试。

如此，所有故障在项目开发初期即被发现并得以解决，从而显著提升软件质量和缩短工程周期。

### 提供PV测试套件

要证明您的PV系统效能出色并完全可靠，须充分满足如下标准化的测试程序：

- EN50530- 光伏并网逆变器的整体效率（静态/动态MPPT效率试验）
- BDEW- 发电厂连接到中压网络（频率跌落和低电压穿越）
- AIT ISORIPP- 一套真实和有代表性的光照度分布的鉴定标准

## Typhoon HIL402\602

工业级超高保真实时仿真器（四\六核处理器），用于对电力电子控制器进行最全面的测试、验证和质量保证。HIL602更可实现多台级联，从而满足大型系统的应用。

### 应用范围

Typhoon HIL402\602实时仿真器是用于开发、测试、优化电网连接的变换器及其质量保证的理想工具（如光伏，风能，有源滤波器），汽车变换器，电力推进驱动器，微电网和工业自动化。

#### 软件工具套件

基于GUI的图形界面，操作简单、直观，通过下面四个简单操作步骤，即可构建模型以及体验复杂的测试场景。

1. 在原理图编辑界面中定义变换器模型，并通过点击编译电路；
2. 从仿真控制中心运行模型，变换电源，切换接触器，负载电机等；
3. 通过自带“示波器”功能，捕获信号，放大，并监测临界点的波形等工作；
4. 通过Python的测试脚本自动执行步骤1至3，实现让HIL402\602自动测试控制器，同时进行全方位不间断自动化测试。

#### 特点和优点

- 采用多核处理器（HIL402四核\HIL602六核）的实时仿真器，可对4\6个变换器进行实时仿真测试；
- 提供20ns的PWM分辨率时长和超高保真性能来测试你的控制器；
- 提供高达2MHz的更新速率仿真你的功率级电路；
- 通过新的捕捉功能快速发现问题并调试你的控制器；
- 提供1兆点捕捉记录长度来检测信号，适用于16个所有的通道；

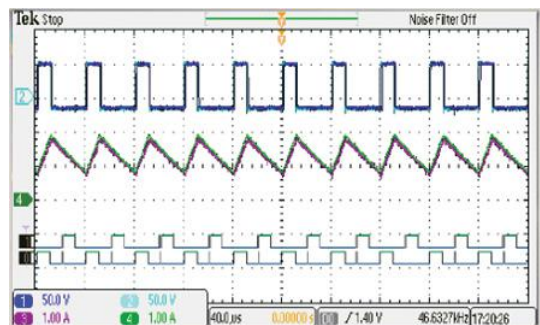


- 提供32通道模拟输出，8/16通道模拟输入，32通道数字输入/输出连接用户控制器；
- 可以通过强大的电力电子组件及示例库构建变换器模型；
- 通过运用Python脚本，进行全方位软件自动化测试；
- 通过以太网或USB 2.0连接电脑主机。

### HIL402\602系统亮点

#### 1. 提供高保真、20ns采样步长的实时仿真器来测试你的控制器

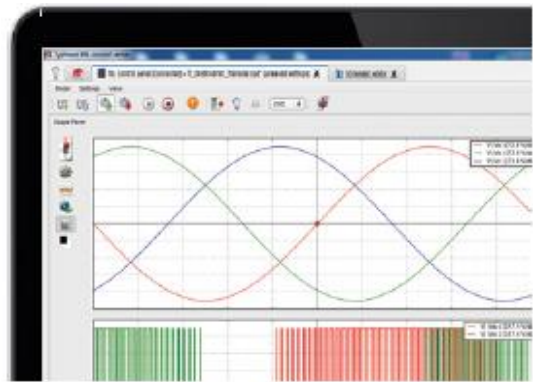
20ns的PWM分辨率时长以及1毫秒级的延时能够实现最真实的电力电子控制器测试和开发。即便对于开关频率的高达40 kHz的变换器,由于仿真误差和延迟极小,HIL402\602实时仿真器波形几乎完全吻合。（如：下图所示）



超高保真。红色：真正MPPT升压变换器电流；绿色：HIL升压变换器电流；深蓝色：真正升压变换器电感电压；浅蓝色：HIL升压变换器电感电压。

## 2.提供具有捕捉功能的微秒级“示波器”功能，监测电压和电流。

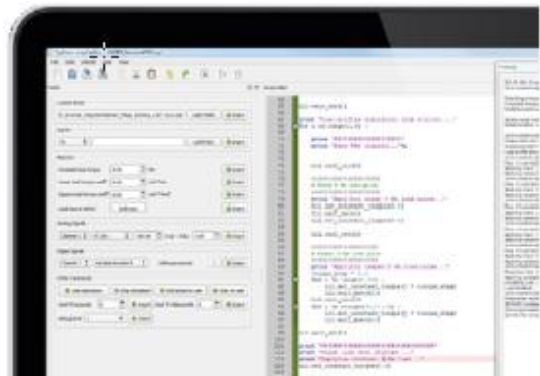
通过具有深存储容量捕捉功能可以快速发现控制算法存在的问题并对控制器进行调试。基于故障注入事件触发捕捉功能，并量化变换器系统响应。通过16个（HIL602为32个）模拟通道，达1M点记录长度的捕捉功能和1MHz的采样率，即使在调制算法中有极微小的偏差，也能被迅速识别。（如：右图所示）



捕捉HIL信号来快速检测、调试和评估您的控制器性能

## 3.运用Python脚本进行自动化测试。

使用Python脚本和HIL402\HIL602系统进行控制器自动化测试过程。提供最全面的电力电子控制软件测试环境，设定故障仅需一条Python的指令，比如电网扰动、短路和开路。使用Python脚本和丰富的数学函数库来量化在一系列运行环境下的系统性能，包括标准运行环境和故障环境（内部和外部）。（如：右图所示）



通过Python脚本进行全方位和重现式的自动化测试，并验证你所有的控制器

## HIL402\602技术指标

		HIL402	HIL602
处理器		( )	( )
模拟输入	通道		
	分辨率		
	输入电压范围	±	±
模拟输出	通道		
	分辨率		
	模拟输出电压范围	±	±
	输出电阻		
模拟输入输出连接器	连接器		
数字输入	通道		
	输入电压范围		
	阈值电压（低，高）		
数字输出	通道		
	输出电压范围		
	输出电阻		
数字输入输出连接器	连接器类型		
连通性	以太网链路		
机箱	外形尺寸（宽 高 长）		
	重量		
	输入电源		

## Typhoon HIL接口箱

通过Typhoon HIL接口箱，直接将产品级控制系统接入Typhoon HIL实时仿真器，无需更改控制器硬件。



### 应用范围

Typhoon HIL接口箱能够将任何电力电子控制器系统与HIL实时仿真器产品无缝连接。它为电力电子行业而专门设计，支持所有工业标准的控制输入/输出接口，例如：电流传感器，电压传感器，光纤收发器，接触器和温度传感器。

### 易于与HIL实时仿真器连接

1. 超高保真的实时仿真器能够实现对控制系统全面的测试和验证，真实控制器与仿真器构成运行环路。
2. 通过HIL实时仿真系统对电力电子控制系统进行测试、验证等工作，被测控制器保持初始完整性至关重要。
3. 我们设计的TyphoonHIL接口箱可以支持所有这些实际电力电子控制器输入/输出接口，所以无需对控制器做任何改动。
4. 此外，我们还提供HIL接口箱定制服务，这样用户就可以如同把控制器连接到功率电路一样，把控制器连接到HIL接口箱。

### 特点和优点

- 电流变换器输出端提供高至500mA的电流来模拟功率级的电流传感器：即LEM传感器或电流互感器。
- 电压变换器输出端提供+/-10V的电压及10 mA电流输出信号。可提升至高达650V的电压来模拟某些特定类型的电压传感器。
- 电压变换器输出端电压可以用于模拟温度传感器，如热敏电阻，PTC等。
- 光纤接收器为控制系统中的光信号提供直接接口，即门极驱动信号。
- 光纤发射器为控制系统中的光信号提供直接接口，即IGBT过流检测信号。
- 电压转换器数字输入端可接受的信号电压范围在-15V至24V之间，非常适合于接触器和继电器控制电压等级。
- 电压数字输出端配置工作电压包括3.3V / 5V / 15V / 24V。
- TyphoonHIL接口箱通过电缆和DIN41612接头直接连接到HIL400/600/800实时仿真器上。



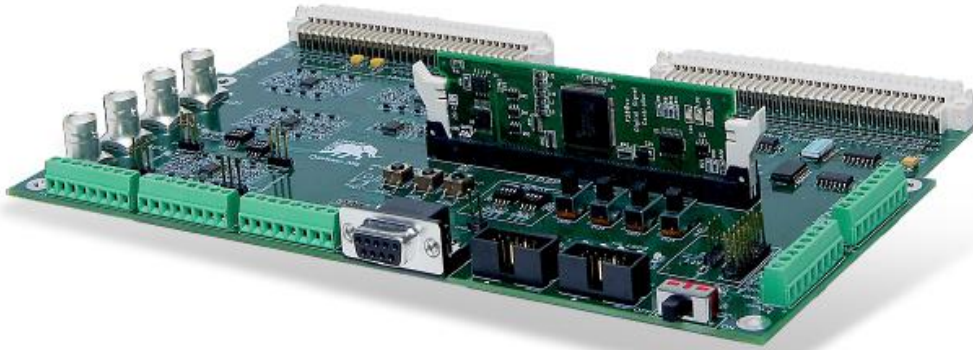
## HIL接口箱技术指标

提供用户自定义端口。可扩展输入/输出电压和电流范围，通道容量，内置式电源等。

电压模拟输入	通道	
	输入电压范围	
电流模拟输入	通道	
	输入电流范围	
电压模拟输出	通道	
	输出电压范围	
电流模拟输出	通道	
	输出电流范围	
电压数字输入	电压等级	( ) ( )
	通道	
电流数字输入	电流范围	
	通道	
光纤数字输入	通道	
	速度	
电压数字输出	电压等级	
	通道	
电流数字输出	电流范围	
	通道	
光纤数字输出	通道	
	速度	
连连接口	接口器模拟输入 输出 数字输入 输出	
机箱	外形尺寸 (宽 高 长)	毫米
	重量	
	输入电源	(通用)

## Typhoon HIL DSP接口板

基于Typhoon HIL DSP接口板，实现控制系统的快速开发！



### 应用范围

Typhoon HIL DSP接口板适用于高速控制的场合，如：数控电源（直流数控、逆变电源等）、电机控制、电力自动化（包括无功补偿、并网、电力仪表，电网保护等）、变频器等应用。它为加快客户的电力电子应用程序的开发提供有力的保障。客户无需为硬件平台搭建而花费大量的时间，只需专注控制代码的开发即可。

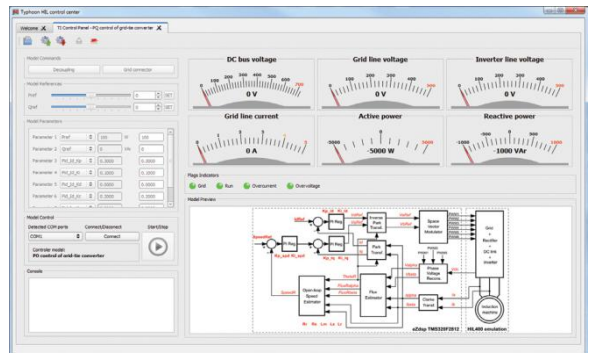
### Typhoon HIL DSP接口板提供GUI调试界面软件

客户通过GUI调试界面软件，可轻松实现编写、调试、编译代码以及监控代码下载、代码运行状态等实时运行的交互功能。该软件集合在“Typhoon HIL control center”中，主要功能：

- 模型控制 - 与TI DIMM100控制卡进行控制代码交互。
- 模型预览 - 用相应软件编辑TI DIMM100控制卡上实现的控制算法。
- 模型指令 - 运行/停止控制算法的选定部分，或设置/清除控制标志。
- 模型参考量 - 允许用户为控制算法设定输入参考值。
- 模型参数 - 控制代码中可读取/更改参数。
- 模型模拟仪表 - 监控控制系统变量。
- 报警指示器 - 监控工作模式和控制代码的状态。
- 控制台 - 为用户提供动作相应反馈信息。

### 即插即用Typhoon HIL 接口板

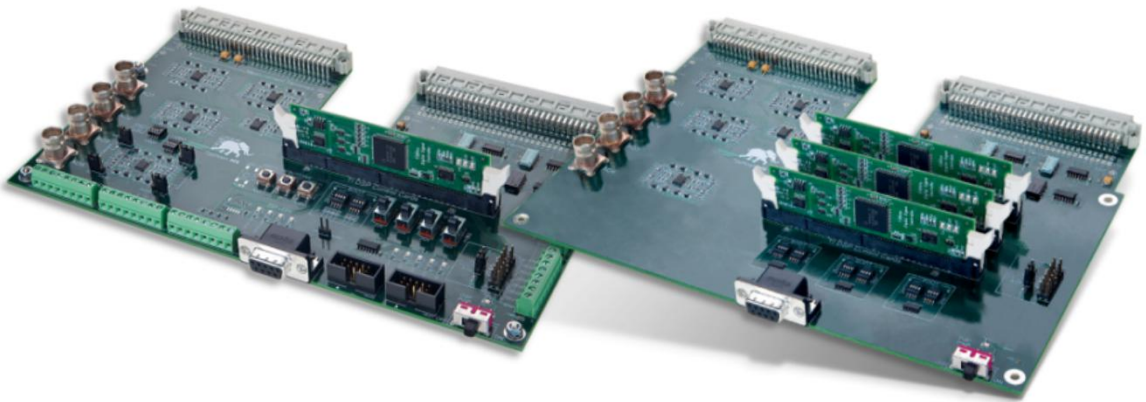
1. 接口板无缝接入Typhoon HIL（400、600系列）；
2. 接口板可直接运行你的电力电子电路；
3. 接口板与TI DSP（如：F2808; F28044; Delfino F28335; Piccolo F2803x 和 F2806x; Con-certo F28M35xx TI DSP DIM100 cards）完全兼容。
4. 接口板提供独有的GUI调试界面；
5. 接口板提供板载式可选式（5V或3.3V电压）JTAG连接器，方便客户的代码直接下载；
6. 接口板提供丰富的接口（如：AD,DI,DO,PWM,RS232等）。
7. 接口板为客户提供免费的实例代码。



GUI图形用户界面布局示例图

## Typhoon HIL DSP接口板技术指标

控制卡兼容性:		
模拟输入 (连接至 模拟输出端脚)	通道	
	电压范围	±
外部模拟输入 (与外部连接器连接)	通道	
	电压范围	±
数字输入 (连接至 数字输出引脚)	通道	
	电压范围	
数字输出的脉宽调制和通用输入输出接口 (连接至 引脚)	通道	
	电压范围	
主机接口		
附加板载外围设备	直接连接至 数字输入端	
	直接连接至 数字输入端	
	数字输出 ( 数字输出端驱动 )	
	数字输出 ( 数字输出端驱动 )	
	模拟输入端口 (与外部接口相连)	±
	数字输入端口 (与外部接口相连)	
	数字输出端口 (与外部接口相连)	
	模拟输出监测 数字输出监测	



## Typhoon HIL软件工具套件

**Typhoon HIL, Inc.** 提供了一套基于GUI图形界面的软件工具套件，该工具套件直观、操作简单、功能强大，其中还集成了自动化测试功能。

使用者可以在软件工具套件中完成模型调用、定义模型组件名称和测量值等，同时完成模型的分割、编译、调试及模型下载等应用。

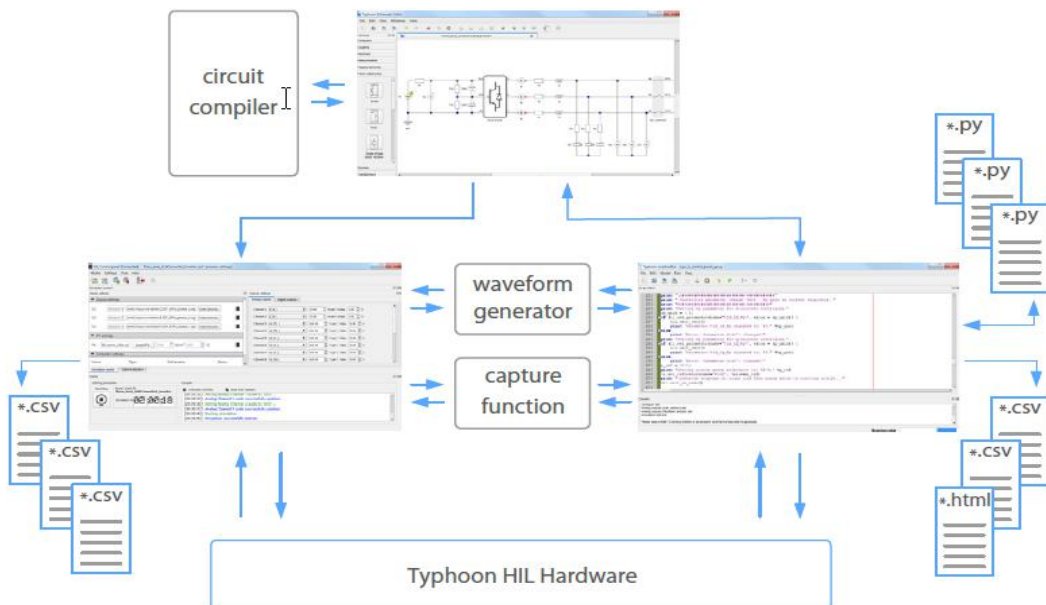


### 简易操作体验

- 1.可以直接调用元件库内的无源元件、变换器、电源和电机等模型；
- 2.在模型编辑界面构建电力电子变换器；
- 3.点击编译按钮快速将电路转换成机器代码；
- 4.打开工具套件的电路板将编译模型加载到硬件中并运行实时仿真程序；
- 5.选取想要检测的信号，可以变换电源或者其他参数来完成全部互动体验；
- 6.采用python脚本编辑器，能够自动执行您的测试流程，并自动生成HTML测试报告。

### 工具套件优势

- 提供模型分割，有效优化处理器性能；
- 提供矢量图形电路编辑器，附有示例；
- 提供电力电子电路元件库；
- 提供电路一键式编译；
- 提供交互式控制实时仿真测试；
- 提供信号的动态选取；
- 提供电源波形编辑器；
- 提供数字输入口的软件控制；
- 通过Python脚本进行自动化测试；
- 提供测试并网特性、保护等测试脚本；
- 提供 Python 应用程序界面（API）；
- 自动生成HTML测试报告。



## Typhoon HIL模型编辑器

模型编辑器专门为电力电子工程师而设计。提供丰富的元件库和矢量图形为快速建模提供了精简而高效的平台。

### 模型构建

模型编辑器提供了一组预定义的电路元件，转换器开关模块，电机等，能够快速搭建电力电子变换器模型。通过简单的拖动库中的模块并连接线路来构建电路，双击元件则可以在对话框中轻松设定模块参数。包含的子库包括：

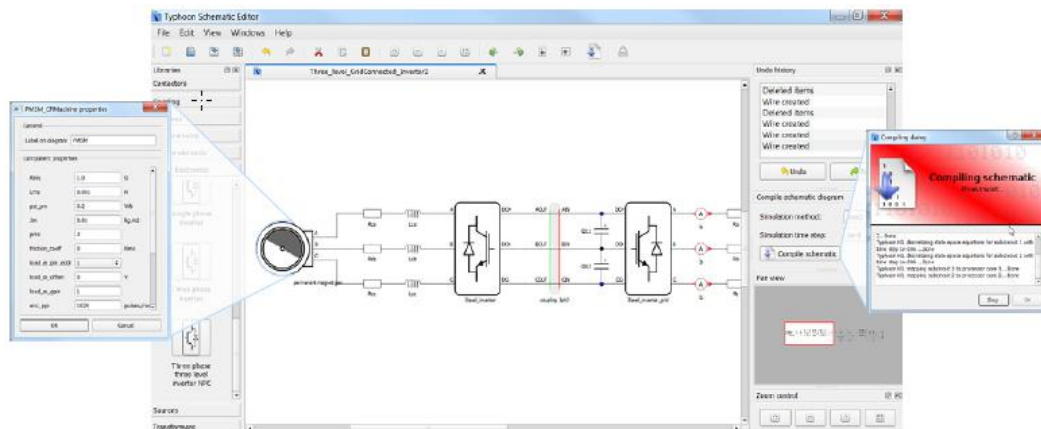
- 无源元件
- 电力电子开关模块（具有不同的开关配置）
- 电机
- 接触器
- 测量仪表
- 耦合模块（用于电路分区）

### 模型编译

1. 通过点击编译按钮完成模型编译。
2. 实时仿真基于分段线性状态空间模型，基于理想开关，通过固定的时间步长来执行运算。（在编译模型前，需选定目标硬件平台，即（HIL400或HIL600）仿真算法以及仿真时间步长。
3. 编译器提供：精确的离散式空间模型仿真；近似离散方法：梯形矩阵法和离散欧拉法及更小HIL的内存占有率。
4. 设置仿真步长时，选择“自动”选项，可以使编译器根据硬件平台选取允许的最短仿真步长。（可选时间步长，包括（500纳秒，1微秒，或2微秒）编译器的预选参数，如果不能满足编译条件，步长将逐步增加。

### 模型分割

1. 依据模型大小以及仿真器中的处理器应用效率，“等效”分割模型。
2. 模型合理分配后进行模型编译。



## Typhoon HIL控制面板

### 交互与仿真

工具套件中的Typhoon HIL控制面板可以同HIL仿真器实时交互。设定系统任意变量至任何模拟输出通道，并调整增益和偏移。可视化设置电压和电流源波形，加载到仿真器，以模拟电网或注入扰动。设置光伏板的IV特性等。交互加载你的电机并更改电机参数。直接设置所有的数字输入端口，并在一个简单的下拉菜单中设置其值。选择软件式或硬件式控制的接触器。在软件模式下，所有的接触器状态直接在控制面板中设置，而在硬件模式下，所有的接触器（状态）由分配的数字输入引脚控制。

### 灵活性

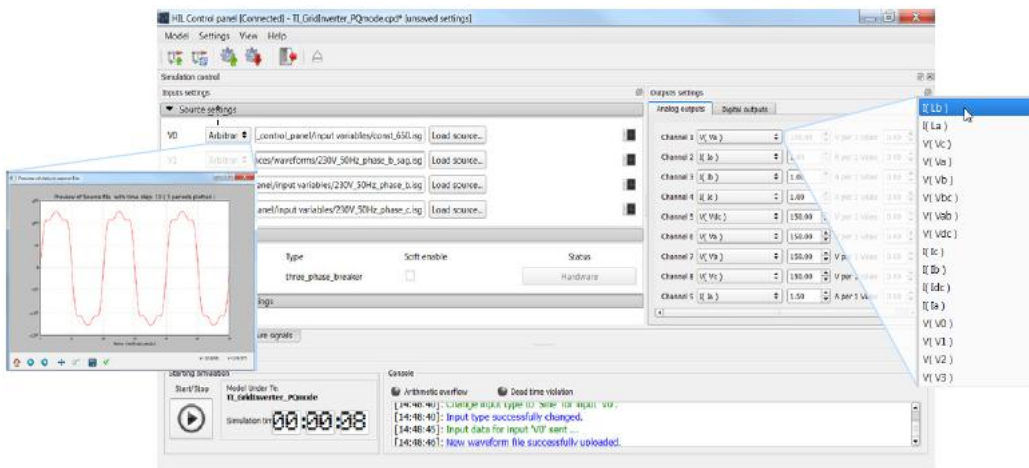
Typhoon HIL控制面板分为两个主要选项：**Simulation Control**(仿真控制)和**Capture Signals**(信号捕捉)。

#### Simulation Control 功能:

- 模拟输出通道的配置：引脚地址，增益，偏移
- 数字输出配置：反转信号，软件控制使能
- 电源设置：定义波形（任意从文本文件、正弦和常量中加载）
- 接触器设置：软件控制使能和状态定义（开/关）
- 机器设置：机械负载设置
- 交换模块设置：设置开关为打开或关闭状态

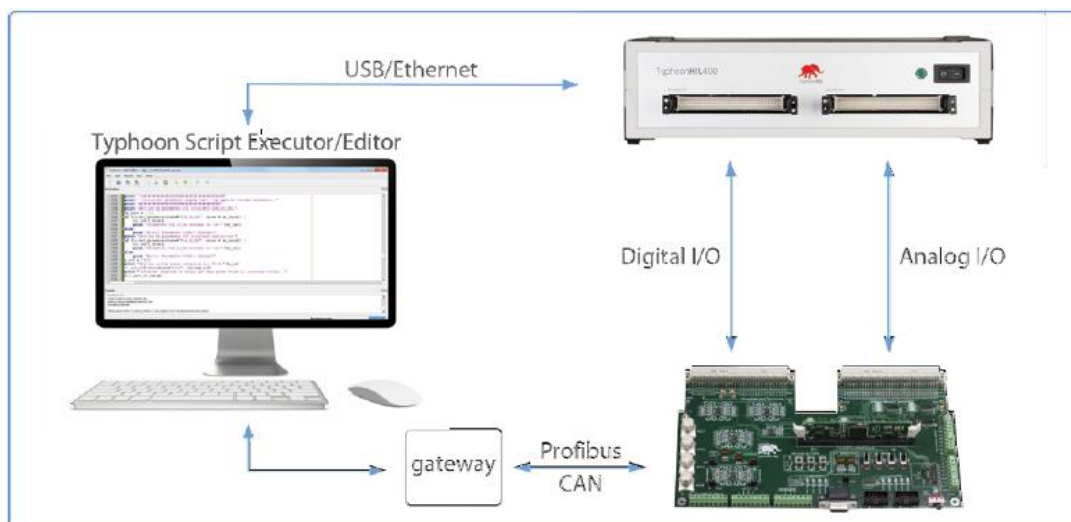
#### Capture Signals功能:

- 设置采样和通道的数量
- 触发设置
- 通道，输入（模拟，数字化，强制性触发），沿（上升沿下降沿）
- 通道设置：选择捕捉信号



## Typhoon HIL 自动化测试

任何时候均可使用Python和API编写测试脚本，在所有运行条件、故障以及极端情况下测试你的设计程序及系统。



### 轻松进行自动化测试

Typhoon HIL工具套件中的脚本编辑器可让您编写并执行测试程序，来对相关控制器进行全方位的测试。可编辑对一系列的运行条件下测试的脚本，包括故障。对于并网变换器，则可支持动态电网下的测试，即低电压穿越，有功功率和无功功率注入，保护等。测试脚本库支持在动态电网标准下的测试，如德国BDEW标准。在驱动器的方面，可对在内部和外部故障下的各种驱动周期和测试故障反馈进行编程。例如，设定短路和开路故障，开关故障，以及对不同参数的测试。定义安全性能规格和验证系统合规性。

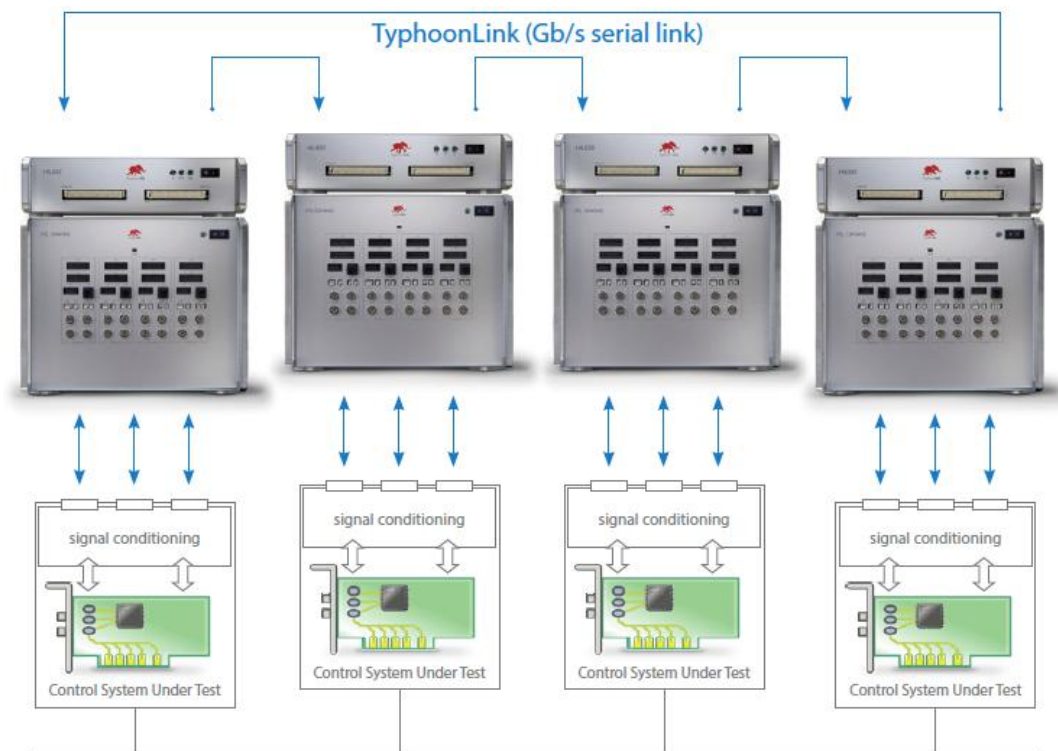
### 强大的应用程序接口

Typhoon HIL的应用程序接口包括：控制面板的应用程序接口，模型编辑器的应用程序接口，TI DSP控制面板应用程序接口和测试执行器。

1. Typhoon HIL控制面板应用程序接口提供与HIL目标机的接口，并使控制仿真过程及所有功能通过控制面板来实现。
2. 模型编辑器应用程序接口提供编程接口来处理现有的模型原理图。可以改变电路参数，编译电路，设置目标硬件平台、时间步长、仿真方法等。
3. TI DSP接口板应用程序接口提供的编程接口来控制HIL DSP接口并更改控制器参数。测试执行器能够运行一个或多个Python脚本，并生成包括测试结果的HTML报告文件。

## Typhoon HIL微电网解决方案

为微电网控制系统的开发、测试和质量保证提供完整的仿真与测试解决方案。



### 微电网Typhoon HIL解决方案

HIL602实时仿真器为微电网电力电子变换器提供系统设计和检测的综合环境。Typhoon链路——千兆位每秒的串行链路，能够使多台HIL602单元无缝连接为集合式HIL系统，进而可以模拟24个或更多的变换器。

无论你用（集群式或独立式）HIL602正在测试单个或多个变换器控制，集群式系统提供了统一的配置环境，因此，操作如同独立式HIL单元一样简单。在模型编辑器中编译模型；通过HIL控制面板中控制实时仿真过程；如果你正在使用独立式的HIL系统，可以以相同的方式通过示波器/捕捉功能获取仿真信号。最后，运用Python脚本通过Typhoon应用程序界面进行自动化测试。

### 特点和优点

- 可以连接4台或更多HIL602实时仿真器单元配置为集群式HIL系统；
- 配置24个实时运算核作为一个集群式HIL实时仿真测试；
- 可以对微电网环境中的单个或多个控制器进行仿真测试；
- 不仅能测试较低水平的控制层，还能测试应用/微电网级控制层；
- 通过HIL接口箱将控制器同多个HIL602实时仿真器单元无缝交互连接；
- 通过Typhoon的应用程序界面，使用Python脚本进行自动化测试和质量保证过程。



## Typhoon HIL DSP接口板应用案例

用于并网逆变器的控制代码开发。

### 控制系统的开发

并网逆变器是分布式发电系统组件中的关键部分，例如风力涡轮机，太阳能光伏，燃料电池等。它们可以控制有功和无功功率、电流谐波等，还可以辅助控制局部电压和频率调节，电压谐波补偿，及有源滤波。

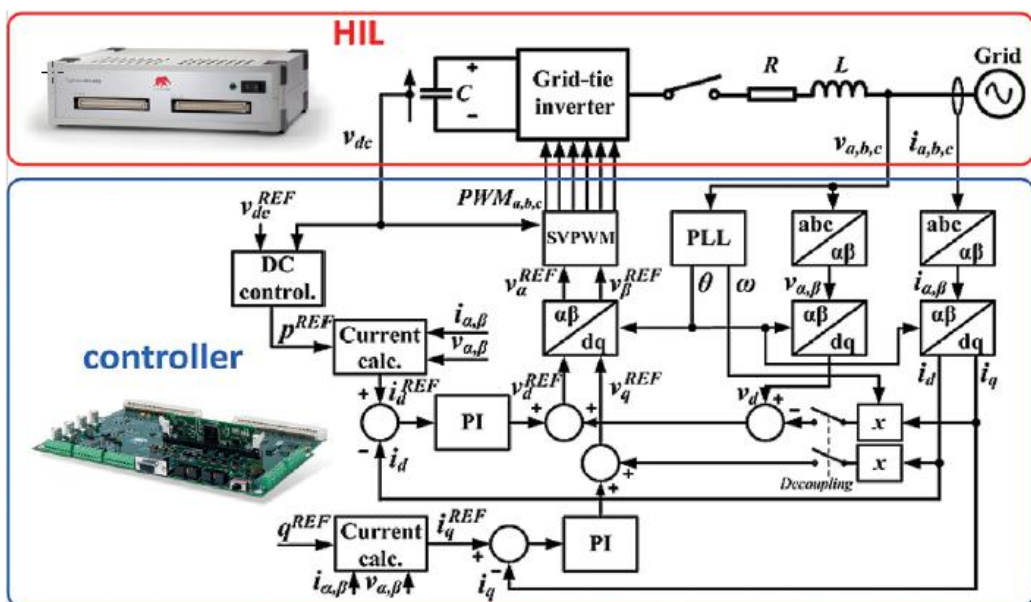
### 无极限测试

可以简易设置幅值、频率和相位位移值来设定HIL电网电压源。此外，你可以在运行过程中编辑并重新加载设定的电网电压波形，以此模拟电网扰动过程，比如：

- 电压骤降
- 尖峰电压
- 相位跳变
- 幅值波动
- 频率变化
- 谐波失真

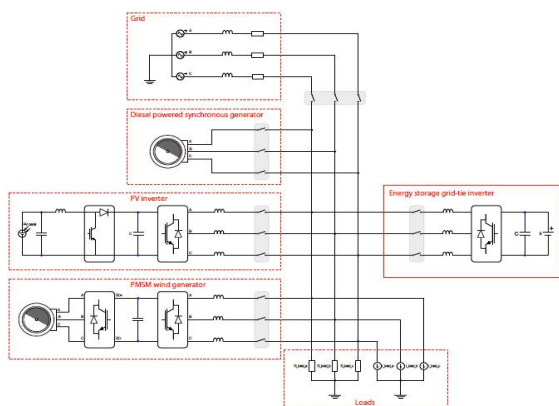
事实上，HIL解决方案使用户可以在办公桌上构建和布置绝对安全的“兆瓦”级并网逆变器测试环境，而无需昂贵的硬件测试设备和高压实验室，同时消除基于实验室的安全和成本问题。开发人员可以很容易地对并网电力电子设备控制器进行标准化测试（即BDEW（德国中压电网指令认证），诸如NEC（美国国家电气规范），IEEE1547（电气与电子工程师协会1547），也可以进行非标准化测试。

Typhoon HIL解决方案与传统解决方案区别在于，无需如用于模拟电网的交流电源等昂贵的硬件测试设备。此外，为了满足并网变换器系统并网技术规范，可以使工程师专注于评估逆变器控制部分性能。



## 开发微电网能量存储变换器

### 控制系统



#### 储能逆变器

在这种情况下，通过HIL602实时仿真器为电池储能逆变器开发完整的控制系统。完整的微电网是运用集中式HIL602来仿真测试。微电网模型为微电网电力电子系统的开发和测试提供了最真实的环境。

这个微电网系统模型包括间歇性的光伏电源，永磁同步机，风力发电机，柴油同步发电机，变速电机驱动器，阻性负载，非线性电流负荷，电网和主接触器，可以用来模拟并网和离网运行体系。提供了一个灵活而简单易行的超高保真的实时仿真环境。

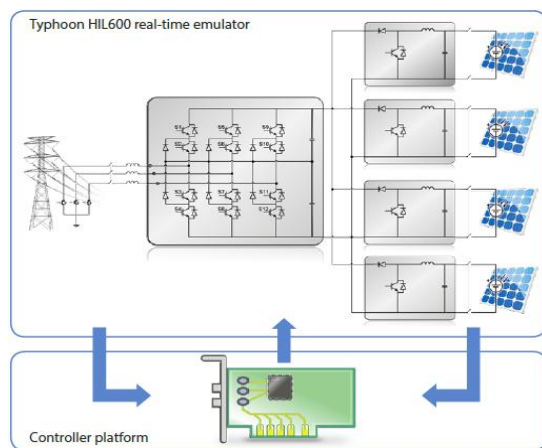
#### 测试，优化，质量保证

由此大的储能逆变器的控制回路设计和优化的控制器设计是通过Typhoon HIL接口箱接与HIL602实时仿真器集群直接完成的。控制器的功能包括脉宽调制器，锁相环，电流和电压控制回路等。以及保护和高级控制功能（即动态电网支持）所有控制器的功能需要进行测试以便适应不同的运行条件。

事实上，Typhoon HIL集群是微电网的电力电子变换器理想的控制器测试和质量保证工具。自动化测试脚本涵盖一系列的测试案例（包括故障状态和系统失衡），这些案例提供了更经济的解决方案，用来全面测试和验证控制系统的性能。此外，Typhoon HIL集群为微电网系统提供了易于开发和测试系统级控制器的环境。

## 开发集中式光伏逆变器的

### MPPT控制器



#### 光伏逆变器控制器的开发

在这种情况下，完整的集中式光伏逆变器系统的控制系统，通过HIL602实时仿真器对包括四个并行的MPPT变换器的开发，测试和验证。高速运算控制器中脉宽调制，电流和电压控制回路，最大功率点跟踪等。以及保护控制和高级控制功能（即支持动态电网）等所有的控制器都可通过HIL进行测试和验证。

控制回路调试和优化是通过真正的控制平台与HIL602相连接交互完成的。MPPT控制代码通过对使用不同光照面积（包括部分遮挡）进行测试，以验证光伏板最大功率点汇聚状态。另外，电流谐波含量也进行了测定，以验证滤波器性能。

#### 测试和质量保证

HIL602，深存储设计，拥有单通道1M采样频率和1MHz采样率的示波器/捕获功能，最多6个并行运算核，以及20ns的采样分辨率，提供最全面、高保真HIL仿真环境。它专门用来测试并网变换器系统并网特性（支持动态电网）并检验其是否合格。

自动化测试脚本包括为获得并网认证需要的测试案例，如德国中压电网指令认证(BDEW)。自动故障设定提供了在电网故障（骤降，频率干扰，过电压）情况下对控制性能、组件故障和环境条件（如太阳能照明）测试和验证的综合环境。捕捉功能能够实现变换器动态的详细分析以及对并网特性的验证。

## 感应电机驱动器

变速驱动器现在随处可见。然而，直接与旋转电机连接进行设计和控制系统的测试，是既不安全也不愉快的经历。

Typhoon HIL400仿真器和配有typhoon HIL DSP接口器的TI系列DSP控制卡为初次上手的学生以及经验丰富的工程师提供了全面、安全且高保真的操作环境。

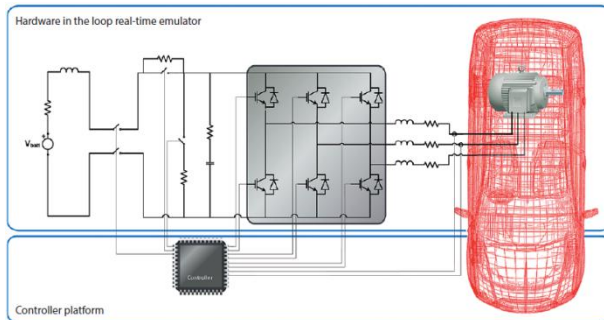
### 控制算法

我们的平台可对不同的种类的控制器的设计和测试，从调制器，锁相环，电流和电压回路，到转矩和速度回路以及估测器等，所有减速保护功能，即减速器，预充电，温度保护等等。可以很容易的对一系列的感应电机控制算法进行设计优化和测试，即：

- V/f控制
- 矢量控制
- 无传感器控制

此外，我们能在不同的操作条件、故障以及参数变量情况下进行测试，比如

- 传感器故障
- 机械故障（开路和短路）
- 转换开关故障
- 机器参数的变化

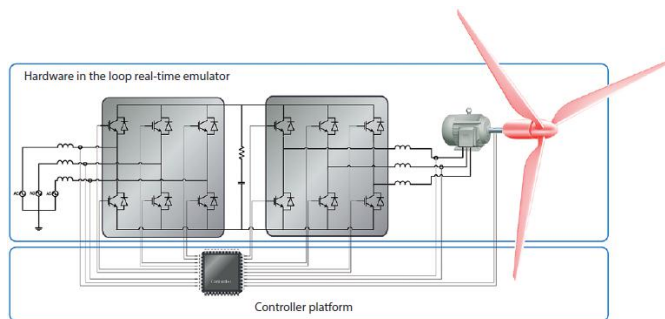


## 永磁电机驱动器

由于永磁电机的性能和高功率密度特点，广泛应用于大功率变速风力涡轮机系统，此外，永磁电动机还应用于汽车和工业自动化领域。

Typhoon HIL602实时仿真器和配有typhoon HIL DSP接口器的TI系列DSP控制卡为初次上手的学生以及经验丰富的工程师提供了全面、安全且高保真的操作环境，用来开发、优化和测试控制变量。我们的平台适用于高速控制以及低频控制。控制测试等级明确。此外，我们能够对一系列运行条件、故障及参数变化情况下进行模拟测试，包括：

- 传感器故障
- 机械故障（开路和短路）
- 转换开关故障
- 机器参数的变化
- 动态负载转矩规格（通过驱动参数得出）



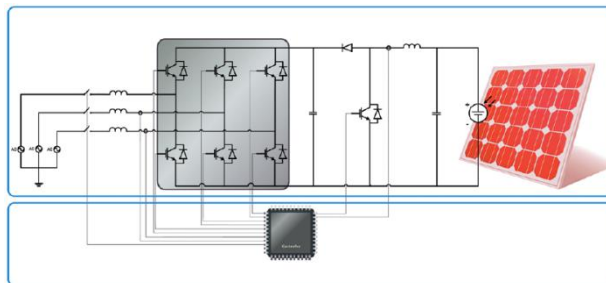
## 光伏逆变器系统

电力电子转换器是光伏系统中的关键部件，它们直接把一个或多个光伏电池板连接到公用电网。为这些转换器设计和测试控制软件、固件和硬件费用昂贵且费时，归因于：

- 直接连接到电网（高电压，大功率）；
- 很难模拟光伏电池板（包括动态的太阳光照条件，光伏发电等故障）

Typhoon HIL为光伏逆变器控制系统的设计测试和自动化检测提供了高保真的模拟系统，控制系统设计师无需功率级硬件。HIL能够实现故障注入功能，包括电网干扰，孤岛模式，以及动态控制太阳能光照。

HIL400系统为学习、实验和实现太阳能光伏控制及保护算法的学生和工程师们提供了集成的、安全而舒适的操作环境，无论额定功率是千瓦还是兆瓦。



## Woodward IDS 使用HIL400开发新型光伏逆变控制器

**“HIL400 has greatly enhanced the efficiency of our development process and will contribute greatly to Quality Assurance as the new controller covers an ever wider range of applications”.**

**Dr. Andreas Dittrich**

### 介绍

自1870年以来，Woodward 一直致力于电机和电能的控制，在当今世界上，在涡轮机控制、电机驱动以及电能管理系统领域处于领先地位，例如CON-CYCLE系列的风力涡轮机变换器（从1.25到6MW）以及SOLO系列太阳能逆变器（从100KW至1MW）。

### 项目

开发IPC50式新型控制器，需要达到更紧凑、更灵活和更低成本的设计要求，以满足多种可再生能源方面的应用。设计团队在瑞士进行设计，而在保加利亚的负责测试。

### 挑战

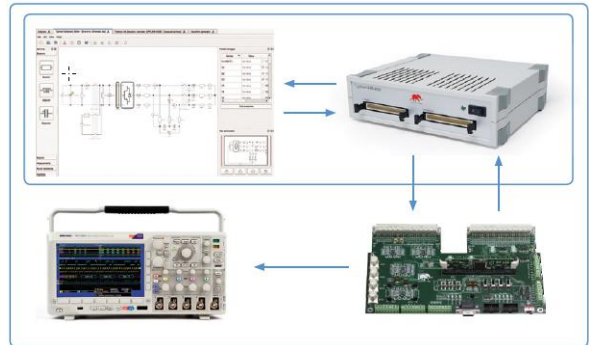
面临的挑战在不同地域（瑞士，保加利亚等）进行快速联合开发（不同的产品系列和功率范围）新型低成本控制器。控制器设计的关键是验证不同运行环境下的工作性能。当变换应用于不同范围时更是如此，譬如太阳能和风能，功率范围可以达到100KW至6MW。设计和测试是一个漫长的过程，尤其在不同的设计和测试团队在同步开展工作的情况下。显然，漫长的开发过程很难缩减成本。

### 解决方案

在项目开展初期，Woodward IDS的开发基于先进的设计和测试工具：Typhoon HIL400电力电子仿真器。这种实时HIL测试仪只有笔记本电脑尺寸，与需要开发的控制器连接，以检验控制算法。

该HIL400取代了实验室，并允许在所有可预见的运行条件下进行控制测试，在进行最终上电实验室测试之前，排除其中99%的故障问题。

在如下拍摄的照片中展示了在Woodward苏黎世设计工作室的测试“工作台”。在前台可以看到配有UF12IO和CTR651卡的IPC232控制器与处于后方的HIL400仿真器相连。左边的Tektronix示波器显示了由HIL400仿真的逆变器模拟输出信号，右侧显示连接至主机（未显示）的HIL400控制接口。



HIL400有一个简单的图形用户界面（GUI），适用于不同类型面板在不同日照情况下的太阳能应用，以及不同的过滤器，线路阻抗和电网电压（骤降、闪变、激增，谐波含量等）。对于风力涡轮机，不同的电机特性可以进行被设定（电抗，机械惯量等），在实验室按照额定功率来模拟则会很困难。

“该HIL400最多允许两个转换器与无限的周边无源元件进行仿真模拟。”亚历山大·卡瓦利说。“如果电路复杂，你可以很方便地通过‘coupling element’来把它分开。此外，该库真的很全面，包括无源器件，变换器，电机，电源，开关，仪表等。”

### 成果

新型Woodward控制器，通过涉及最少的资源而加快了发展步伐。“拥有灵活的实时仿真器意味着你可以测试修改算法，而无需在电力实验室开展枯燥且繁琐的测试。当我们已经准备好去实验室进行最后的测试时，控制器工作实际上已经完成了。”马丁·文森斯说。

### 结论

传统的电力电子控制器测试方法，需要完全在电力实验室完成，成本太高，无法满足不断发展的控制器质量和可靠性要求。在电能管理和可再生能源利用为主旋律的时代背景下，Typhoon 系列仿真器致力于此并带来了降低开发成本和质量保证成本的变革式解决方案。

## Enerdrive使用HIL400用于配电变压器的测试

Enerdrive开发了具有优化滤波组件的700KVA电压源逆变器，以取代用于配电变压器测试的传统MG组件。

“Typhoon HIL400和一个OEM控制器，构造了一个理想的开发环境，这环境将实际控制信号和“真实硬件”实时交互相连，而“真实硬件”如软件仿真一样便于操作。”

“HIL400为每个电力电子工程师必备”。

——安德烈亚斯·迪特里希博士，Enerdrive首席执行官

### 介绍

Enerdrive是一家电力电子控制软件公司，成立于2005年，提供电力电子系统和能量转换系统等领域的相关服务。该公司致力于控制系统设计和软件开发，主要应用于风能发电和太阳能变换，工业驱动器，有源滤波器技术和静态电源供电等领域。

### 挑战

配电变压器是电力系统中一个最重要应用的组件。要确定配电变压器正常运行状况，则需要进行一系列的测试，包括开路测试，短路测试，局部放电试验测试等。

传统的测试方法，包括旋转电动机装置（MG），拥有诸多缺点，已经逐渐由电压源逆变器技术取代。关键的挑战是利用最小型的滤波器元件将电压总谐波失真和共模电流降到最低。

为了给被测设备提供高质量波形，VSI的控制系统必须被优化，用于：

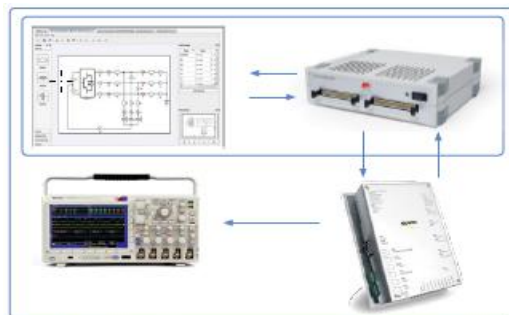
- 额定电压开路测试
- 额定电流短路测试
- 在最小共模电流干扰下进行局部放电测量。

### 解决方案

对差模滤波器，共模滤波器，调制算法以及闭环控制系统同步优化很有挑战性。

将原始设备制造商控制器连接到HIL400，电力电子软件和硬件则得到精简优化，HIL400中的硬件元件如软件一样易于操作。

Typhoon HIL软件工具提供了一种直观的方式来描述电力电子硬件以及其在HIL400内部的操作过程。通过HIL400，现在很容易的运行原始设备制造商电力电子控制器。



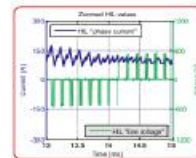
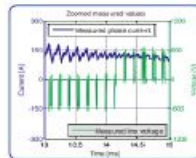
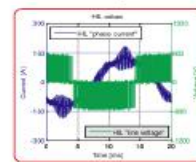
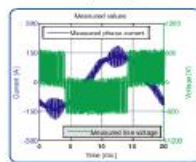
Laboratory setup

HIL400 based setup



Laboratory setup results

HIL400 setup results



### 结果

在实验室中的逆变器相电流和线电压测试结果与使用HIL400的仿真所得结果几乎完全吻合。两种情况都采用了和原设备制造商控制软件和硬件相同的设置。

### 结论

HIL400能够实现对电力电子软件开发和硬件开发，操作时间上的分离化。通过Typhoon HIL400，现在模拟一些耗时、高消耗的运行环境进行测试，还可以进行一些无法在实验室进行的测试。

## TPS利用Typhoon HIL开发微电网功率逆变器

利用HIL400，TPS开发出可以输出高质量三相电能的高效、可靠、紧凑型电源逆变器“Typhoon HIL400是非常有用的工具，让我能够以安全的方式测试我的控制器，它在程序控制模块和固件设计方面给了我更多的信心。”史蒂夫·米切尔先生说，史蒂夫·米切尔先生为工作于Turbo Power System公司的嵌入式系统工程师。

### 介绍

Turbo Power Systems 公司致力于设计和制造高性能电机，发电机和电力电子系统，并为能源转换，工业，交通运输和国防市场提供定制的解决方案。

TPS进行了多年工程创新，无论是从环保要求的角度还是从性能到体积的角度，公司都有能力承接具有挑战性的设计。电力电子部门专业从事各种电力电子产品的设计和制造，于诸多领域都有广泛应用，包括变频驱动器在工业和航空航天领域的应用，专业的高压供电电源和辅助电源转换器的应用，以及电池充电器在铁路行业的应用。

### 挑战

随着微电网的普及，发电装备和用户更紧密，相匹配的小型发电机地位更加重要。电源逆变器作为发电机（电机）和电网之间的中间环节，在发电市场必不可少。为了避免在安装发电机组过程中的诸多不便，电源逆变器可能比传统的变速箱更紧凑。为了满足不断增长的市场，可以提供优质的3相电能，高效、可靠、紧凑型的电源逆变器有待开发。

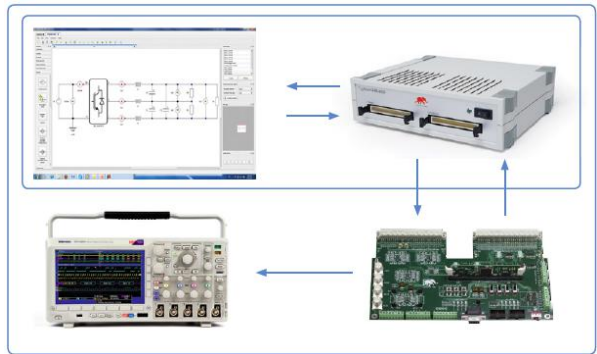
### Typhoon HIL400体验

适用于电网级电压源逆变器的控制板和控制模块已经得到开发，在模拟控制器数月之后，下一步则要连接控制器到真正的实物硬件。

该步骤一直存在问题，特别是当采用新设计和测试完毕的控制平台。

即使在现场拥有优秀的工程师，仍旧不可能对所有问题都有预见。失误则会付出昂贵的代价，甚至极度危险。发生故障的组件非常昂贵，而且需要耗费几个小时来更换。因此，想要专注于控制结构和相关算法的工程师会因为困扰于电力电子系统相关保护措施而停滞。

通过使用HIL400，排除导致产生错误动作的误控制部分，无需花费公司的重要成本。



一旦运行，Typhoon HIL400（上图）能够接受来自控制模块的开关波形，并产生电流和电压波形。这允许真正控制器作为闭环系统来运行。由示波器捕获的结果示于下图，顶部三条波形代表电感器的电流波形。6个数字信号波形是为三相逆变器顶部和底部的IGBT提供开关信号。图中显示由控制器生成的开关模式产生正确的三相输出信号。

软件的一个特有功能是死区时间警告。在实际的情况下下一个死区时间错误将导致逆变器的DC Link端短路，开关器件会通过破坏性电流。然而，由于这是实时仿真，在控制器的开发阶段不会损坏元件。

### 结论

Typhoon HIL400 实时仿真器是利用真正控制平台来以消除硬件和软件运行时的错误，而不是简单的模拟或者直接上电。

仿真的信号允许在运行过程中对信号调节和硬件保护进行观察。从电压转换器输出到微控制器的输入，很容易验证是否符合设计要求。通过此方法可以对编程控制模块进行有效性验证。

携手开拓无限可能

Together to create all possible