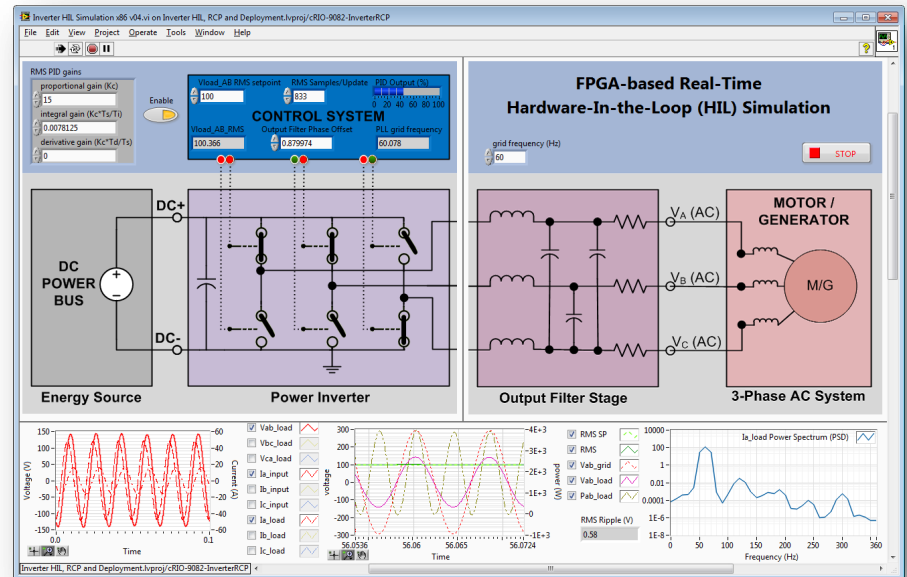
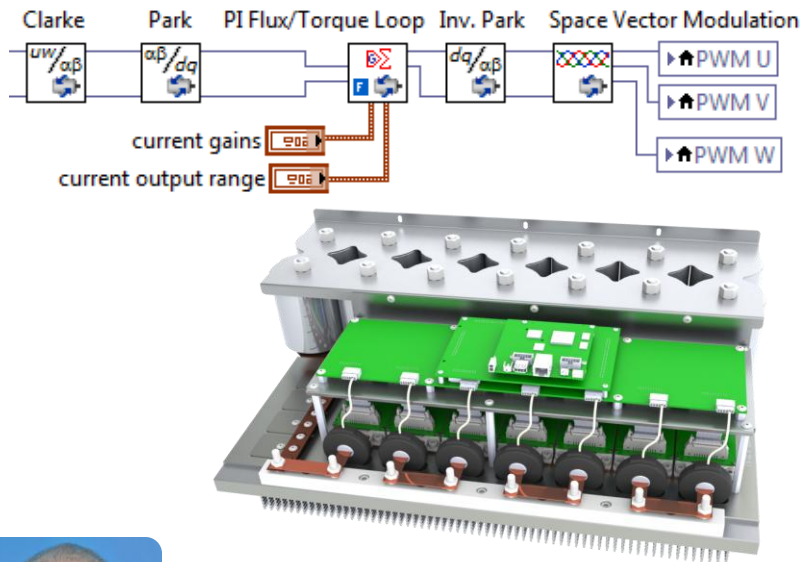


# 数字能源革命:

改变能源生产、转化和消耗的方式



Dr. James Truchard –  
NI总裁、CEO兼创始人



Brian MacCleery – NI清洁能源技术主产品经理



Owen Golden - NI全球能源部门副总裁

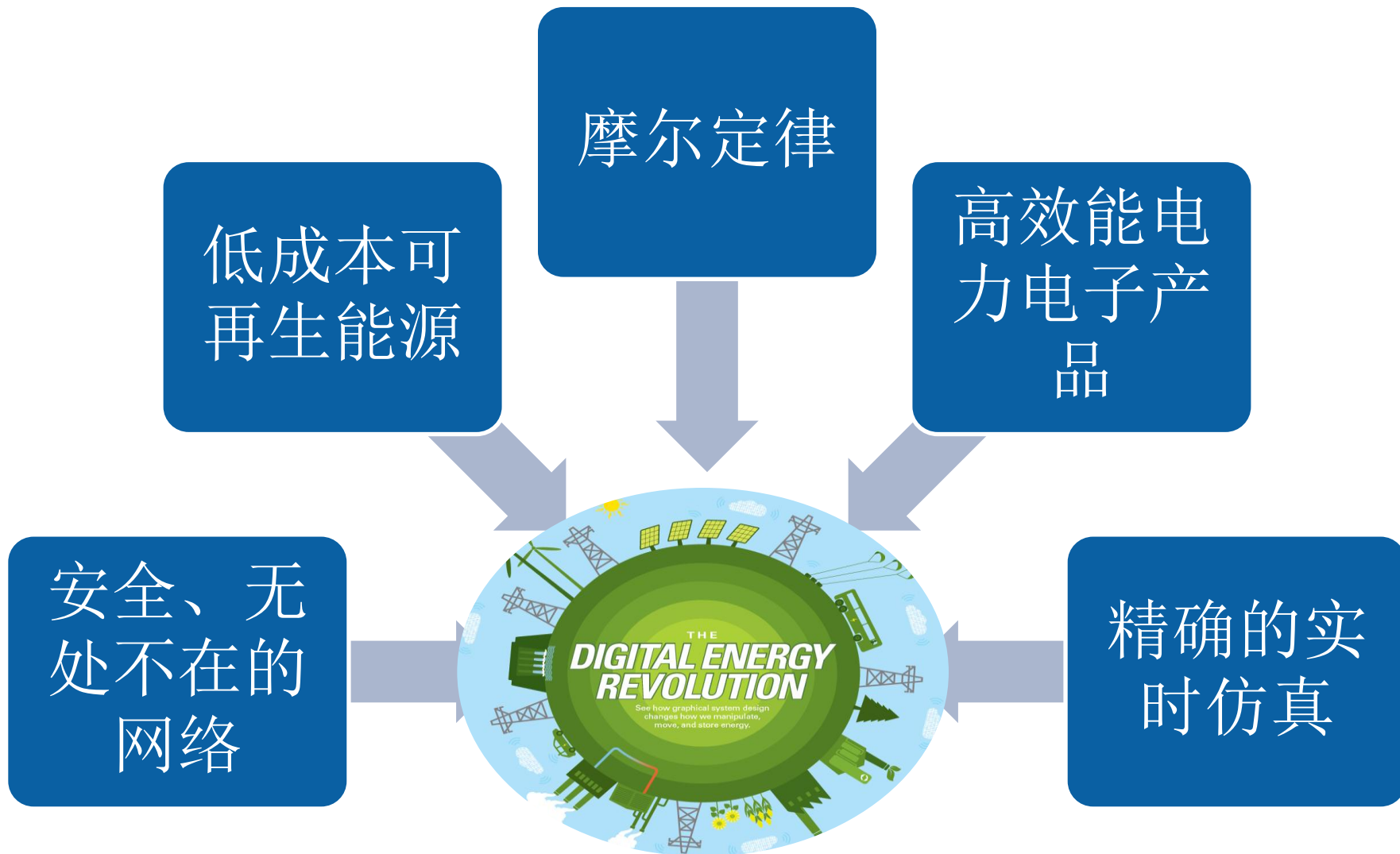


The infographic features a central green circle with concentric rings. Surrounding this circle are various icons: a sun at the top, solar panels, wind turbines, power line towers, a bus, a truck, a factory with smoke, a train, and various clouds with signal waves. The text 'THE DIGITAL ENERGY REVOLUTION' is prominently displayed in the center of the circle.

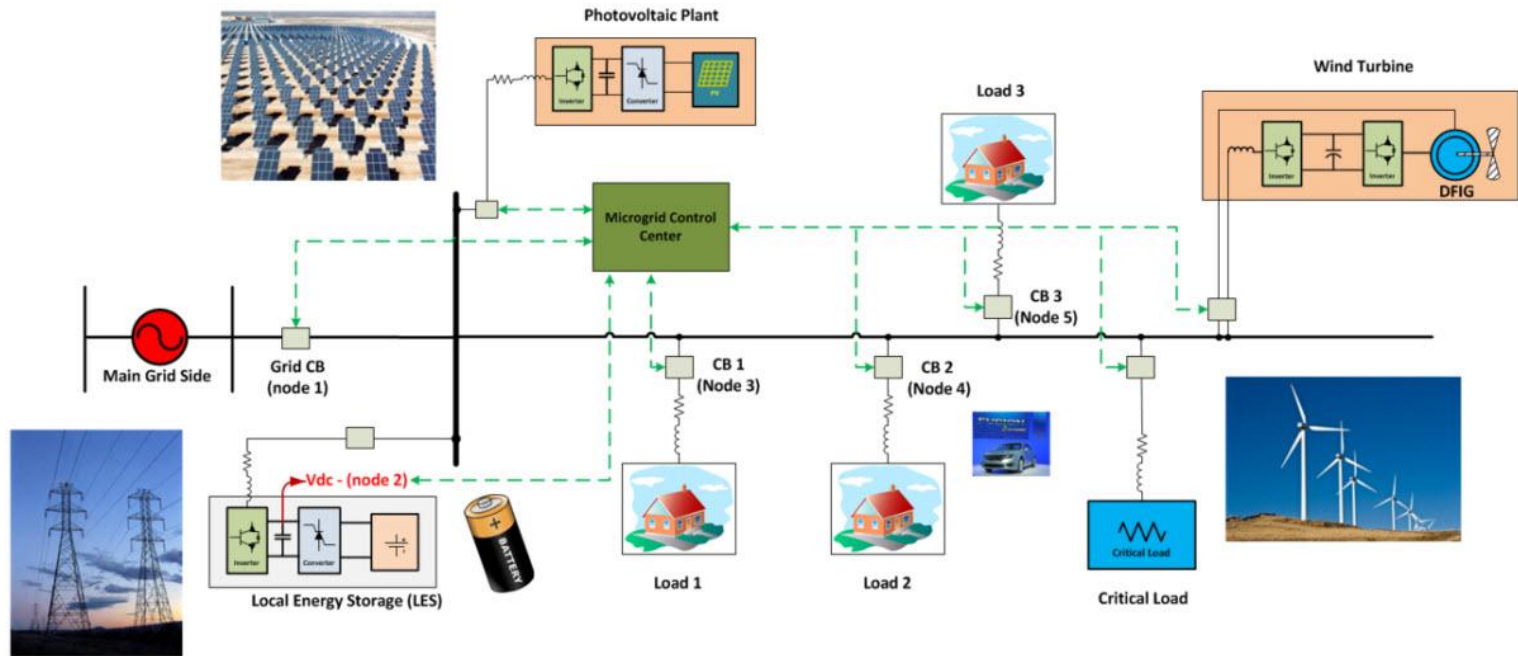
# THE ***DIGITAL ENERGY REVOLUTION***

See how graphical system design  
changes how we manipulate,  
move, and store energy.

# 数字能源革命



# NI主要数字能源应用



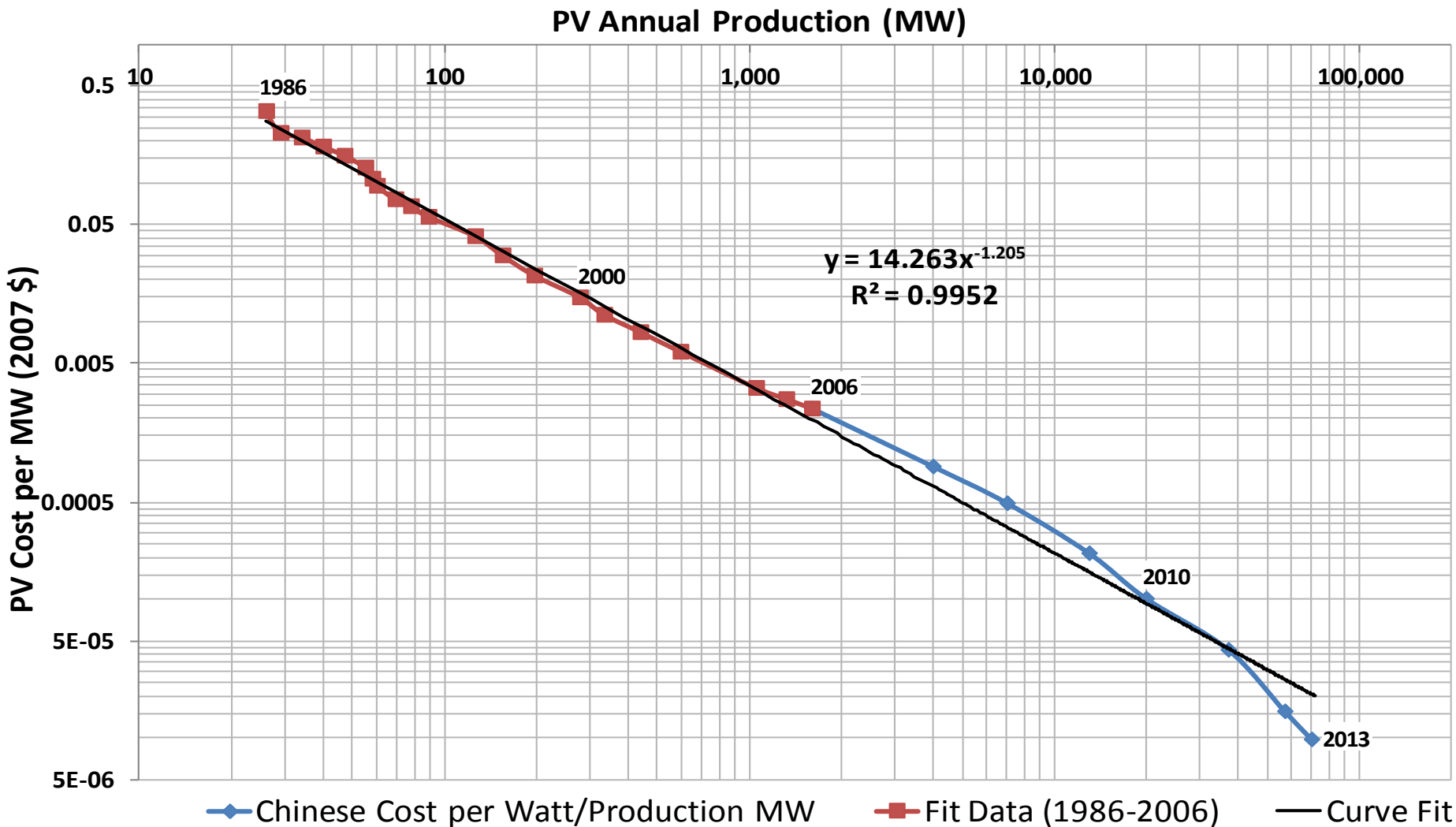
- A. 用于输电、配电和微型电网的智能和自愈型控制和监测系统
- B. 用于风力涡轮机、太阳能/光伏、电网储能、柔性交流输电系统 (FACTS)、不间断设备(UPS)的电能量转换器
- C. 智能电能维护和诊断系统
- D. 虚拟发电、需求/响应和节能系统
- E. 电动和混合动力列车和车辆以及高效能工业变频电机驱动器、水泵、压缩机

# 2020 年与 2000年对比

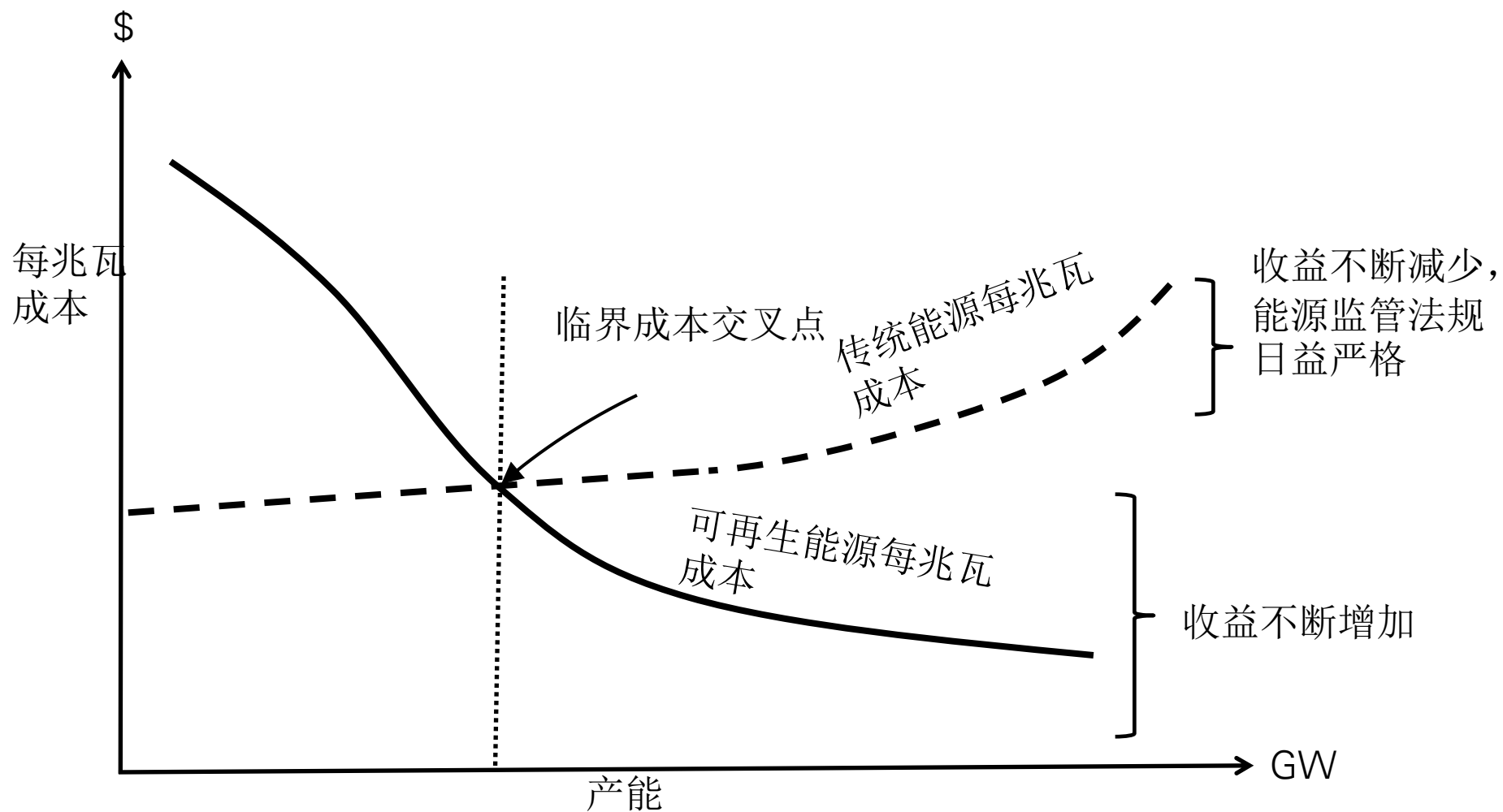
- 处理性能/美元提升113倍
- 相同尺寸的电能转换器可控制的电能提高27倍
- 锂电池储能/美元提高29倍
- 典型电力电子晶体管效率提高99.5%（废热减少3.4 倍）
- 太阳能模块成本/瓦降低110倍，太阳能安装成本/瓦降低24倍

# 太阳能领域的摩尔定律

Polysilicon Solar Module Cost as a Factor of Production, 1986-2013

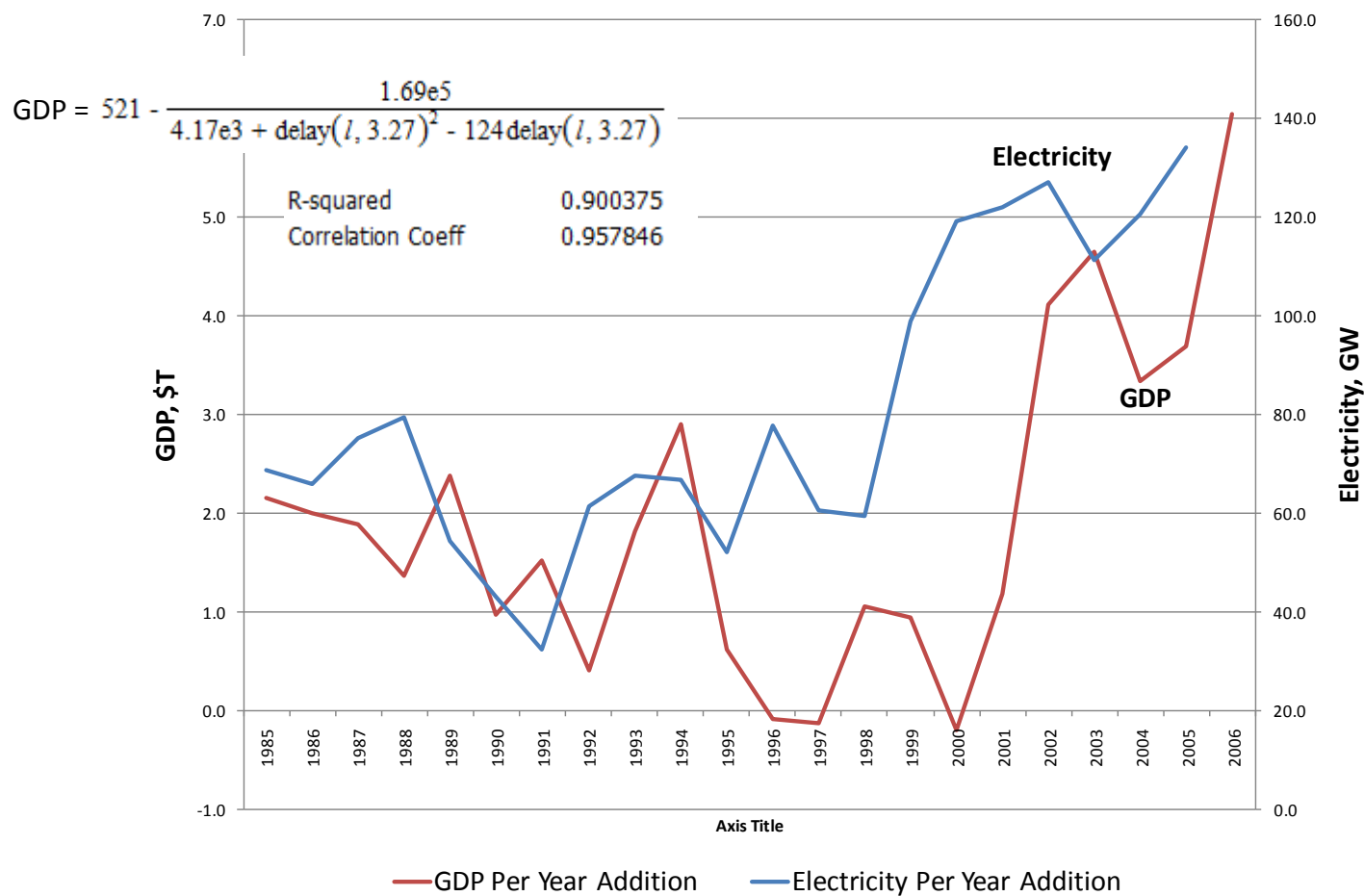


# 可再生能源收益



# 丰富的能源 促进 经济增长

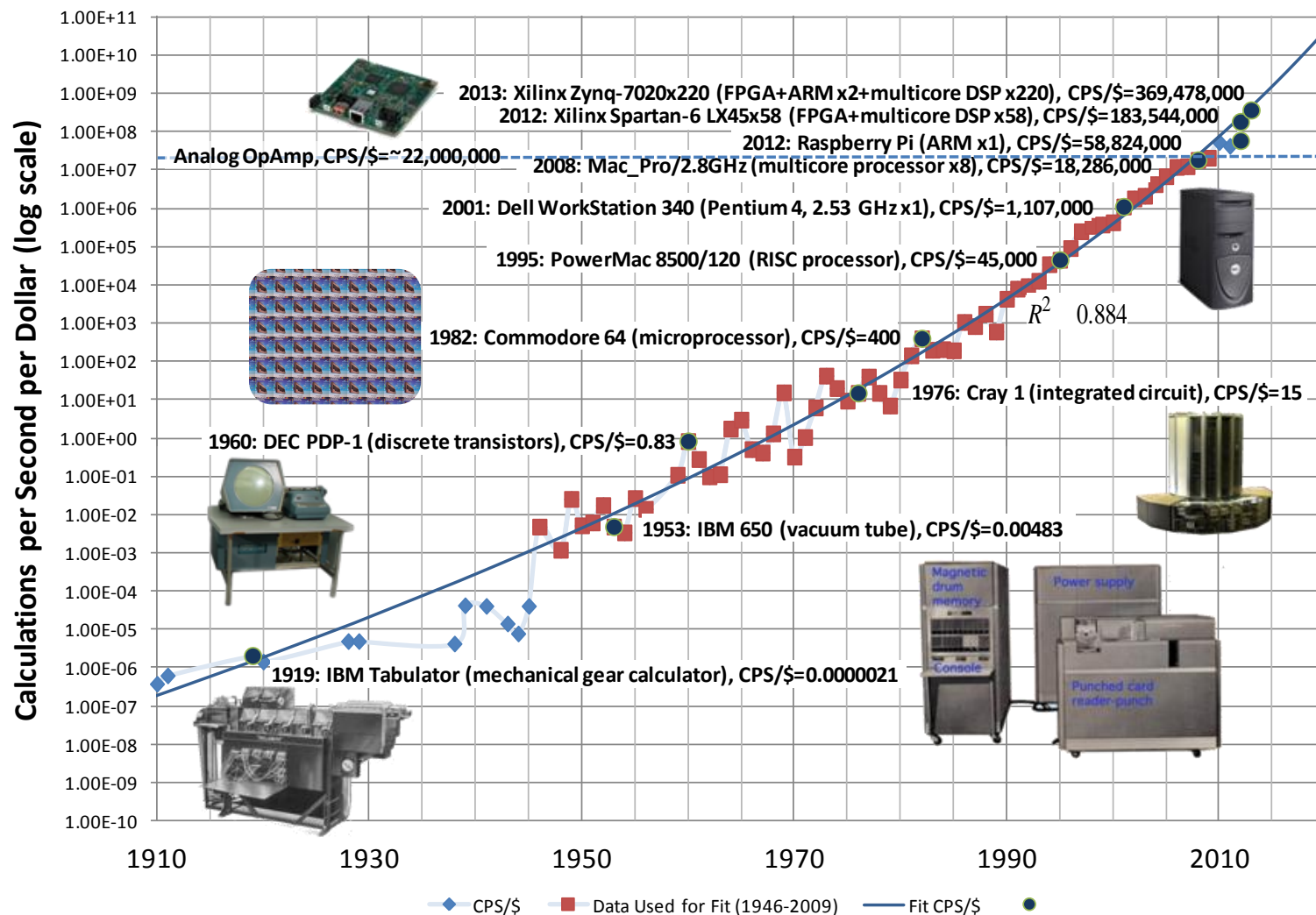
## 经济增长需要 丰富的能源



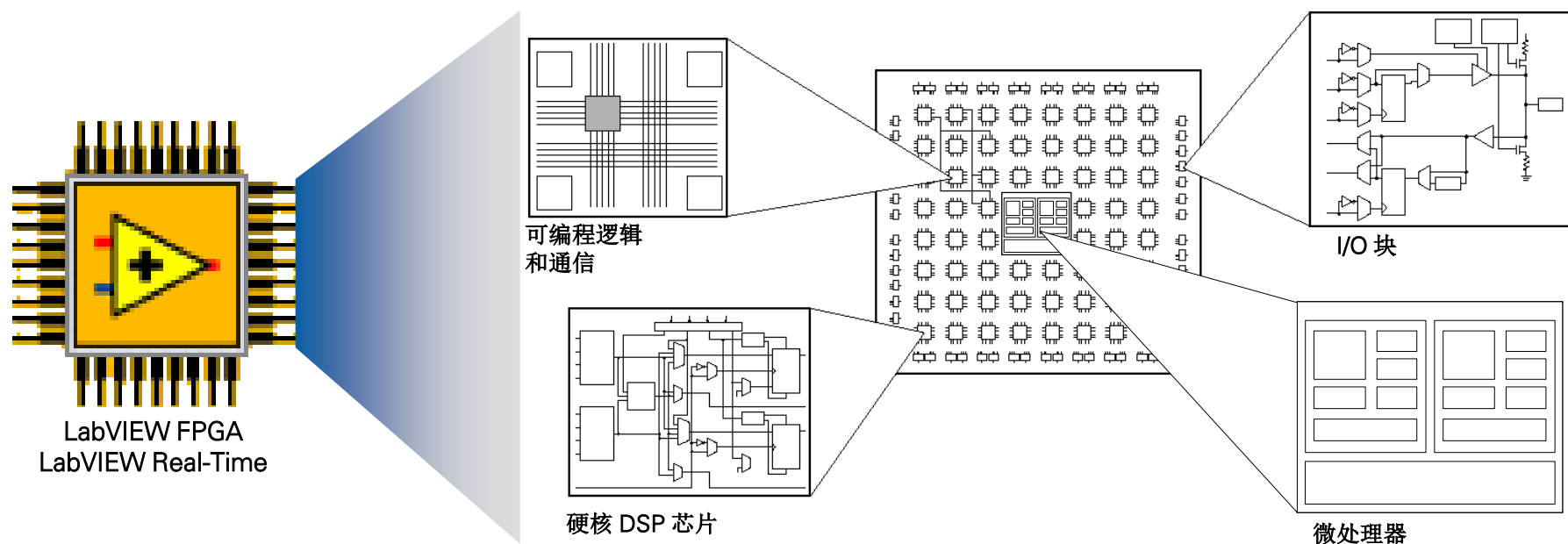


# 计算的性价比：2000年-2020年

Computing Price-Performance: 1910-2020

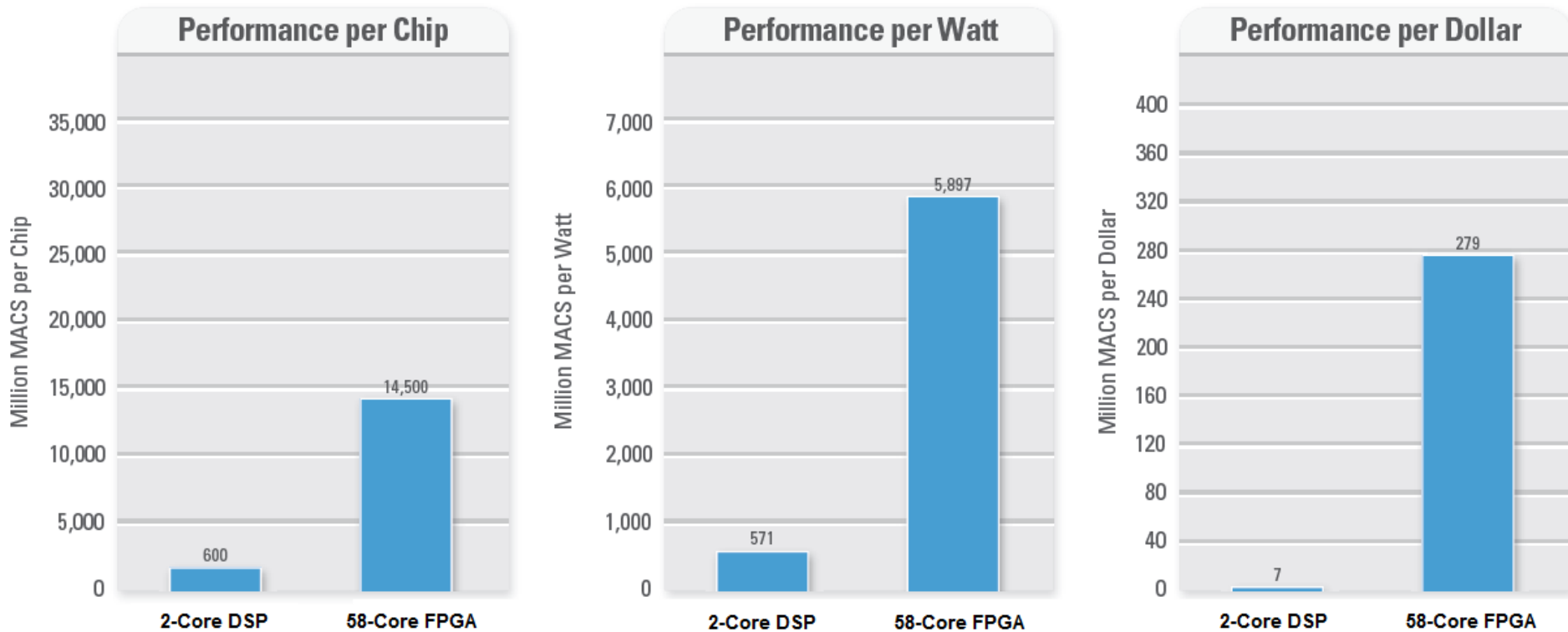


# 摩尔定律的未来趋势是大规模并行异构



## 现代混合DSP/FPGA/ARM 片上系统(SOC)

# 现代混合FPGA比传统DSP具有更高的性能



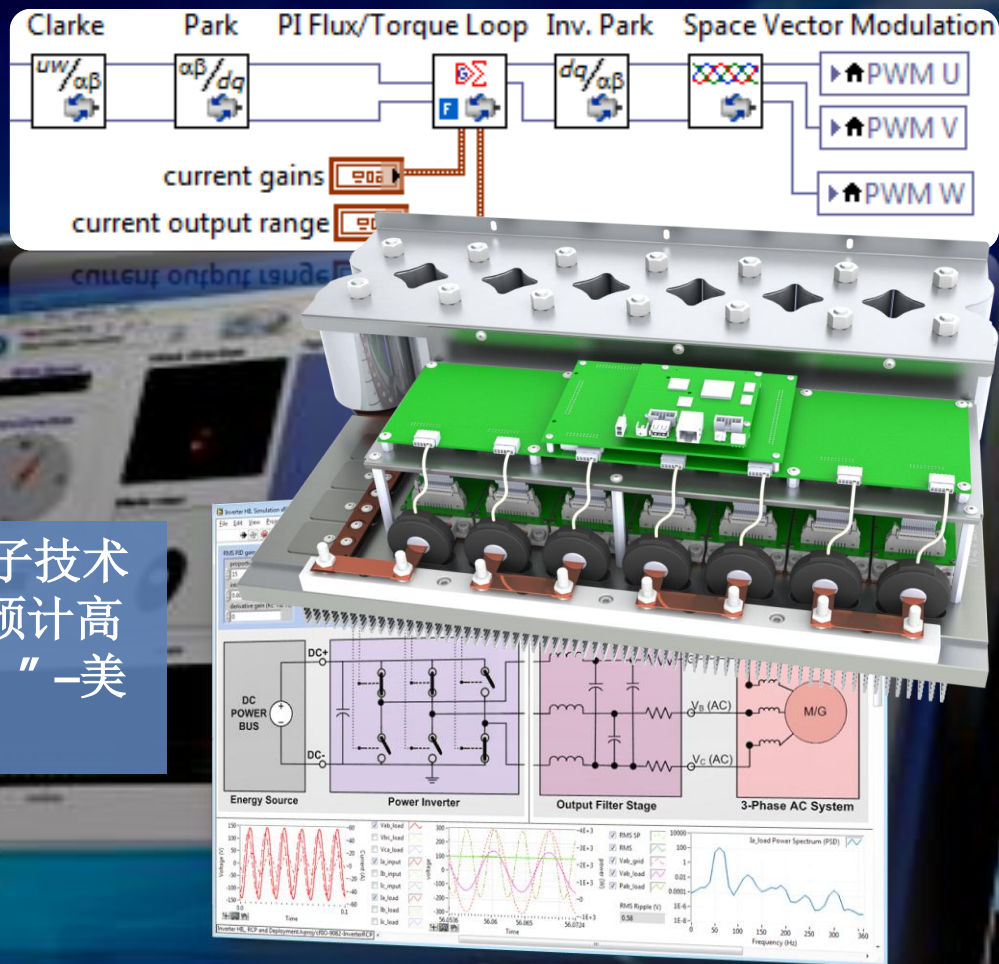
	双核 DSP	Spartan-6 LX45 HFPGA	Zynq 7020 SFGPA	性能比(FPGA/DSP)	性能比(Zynq-7020/DSP)
百万MACS/芯片	600	14,500	92,000	24	153
百万MACS/瓦	571	5,897	23,000	10	40
百万MACS/美元	7	279	515	40	74

MACS = 每秒乘法累加运行次数 (DSP 性能衡量参数)

# 数字能源革命

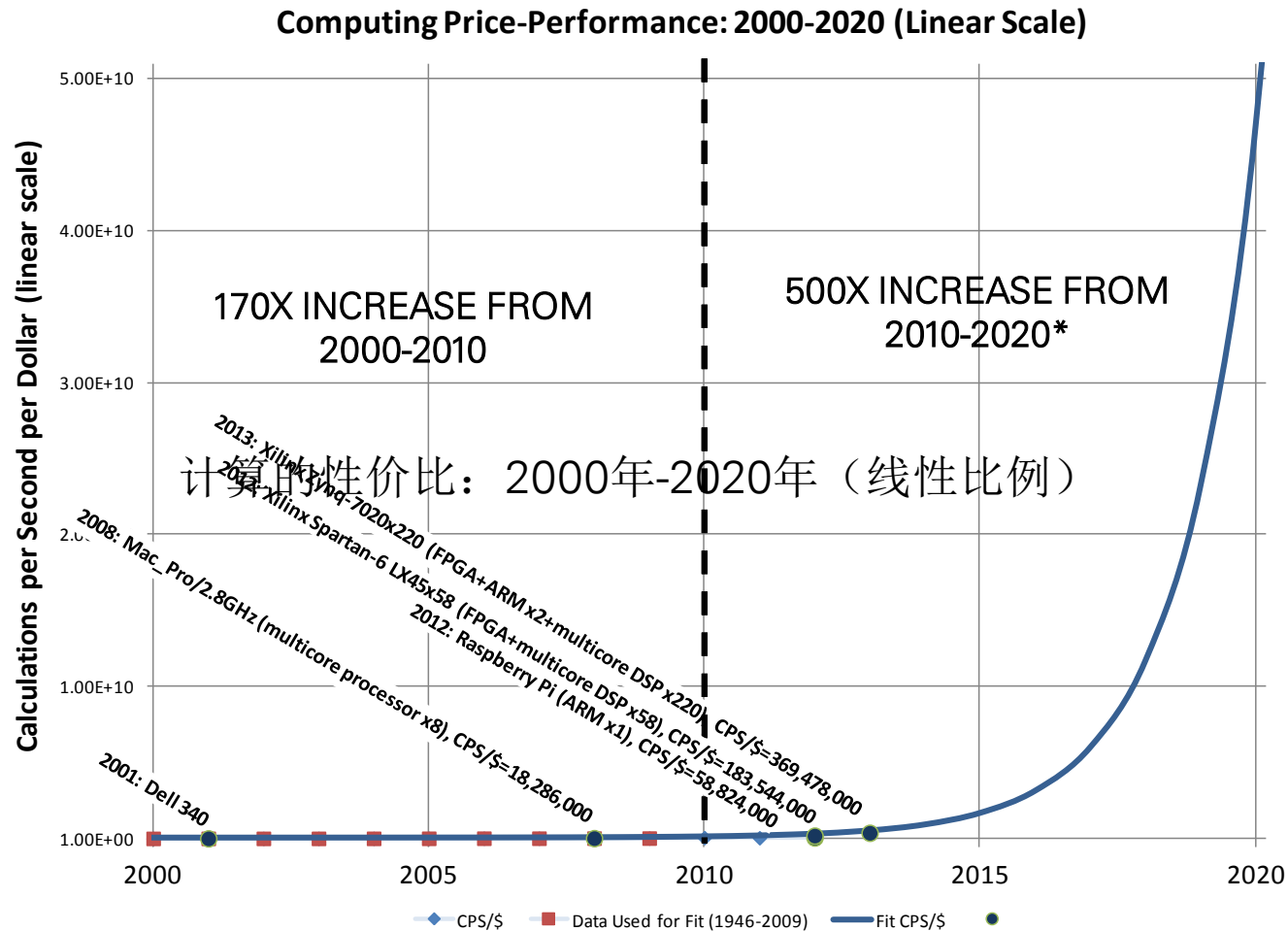
- 数字化和数字控制
- 网络化
- 现场可重配置
- 建模和仿真
- 指数增长

**“今天，约 30%的发电厂 利用电力电子技术进行发电和控制能耗。到2030之前，预计高达80%的发电将会利用电力电子技术。” -美国能源署**



访问[ni.com/powerdev](http://ni.com/powerdev)，加入开发者论坛

# 计算的性价比：2000年-2020年（线性比例）



# 嵌入式设计面临的挑战

## 摩尔定律困境

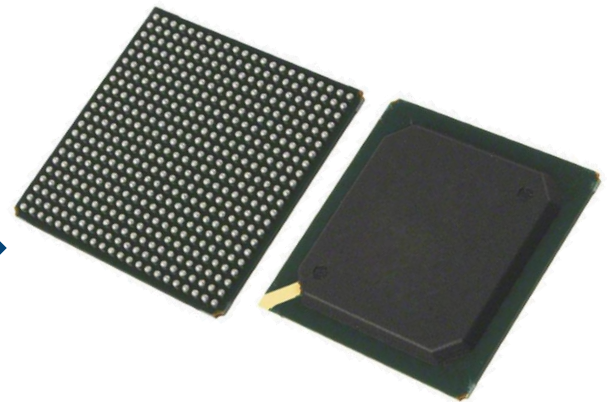
- 晶体管数量每18个月翻一倍
- 性价比每14 个月提高一倍
- 完全自定义嵌入式设计需要花费12-13个月
- 设备的引脚数量随着晶体管数量的增加而增加 > PCB布局日趋复杂，风险和成本日益增加
- 嵌入式芯片的电压电平日益趋近本底噪声



DIP 套件



窄板四面扁平封装

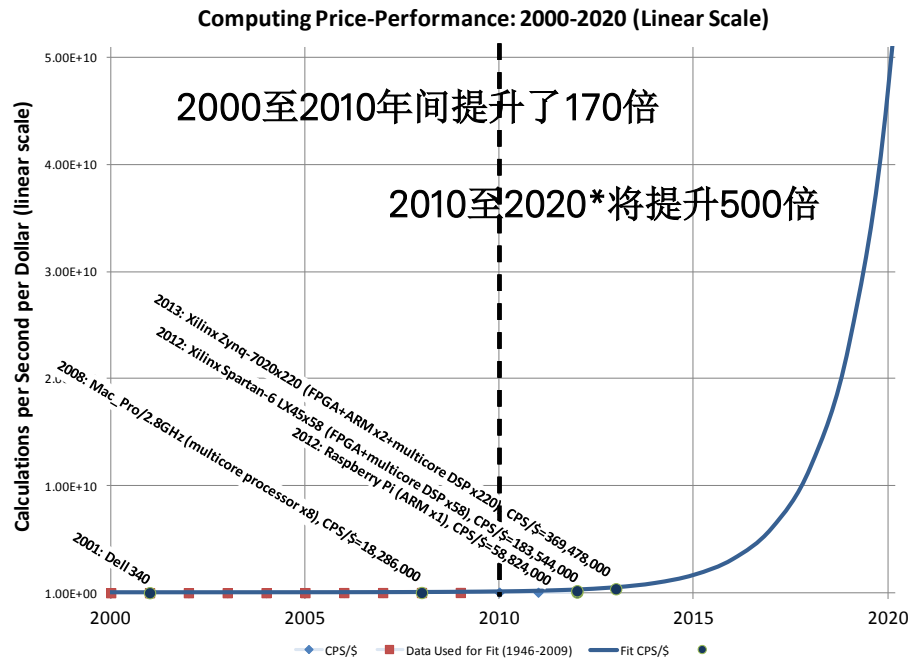


球栅阵列 (BGA)封装

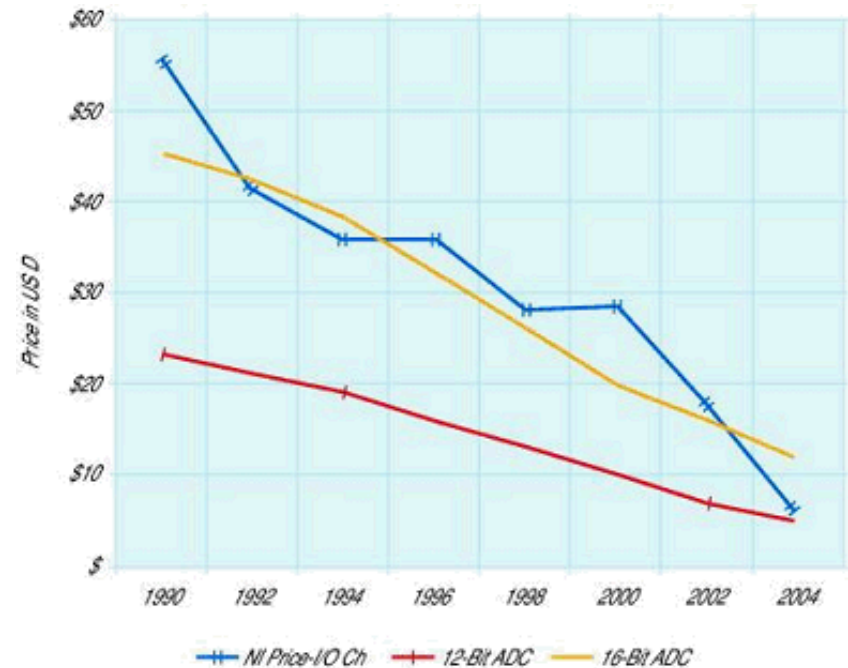


# 商业现成技术(COTS)

- 摩尔定律是一把双刃剑：完全自定义设计跟上摩尔曲线发展趋势的成本将日益增加。零部件将比以往更快地更新换代。
- NI一直以来就致力于提供指数增长的性价比以及一个具有长期硬件/软件兼容性的平台来帮助用户“跟上摩尔曲线”

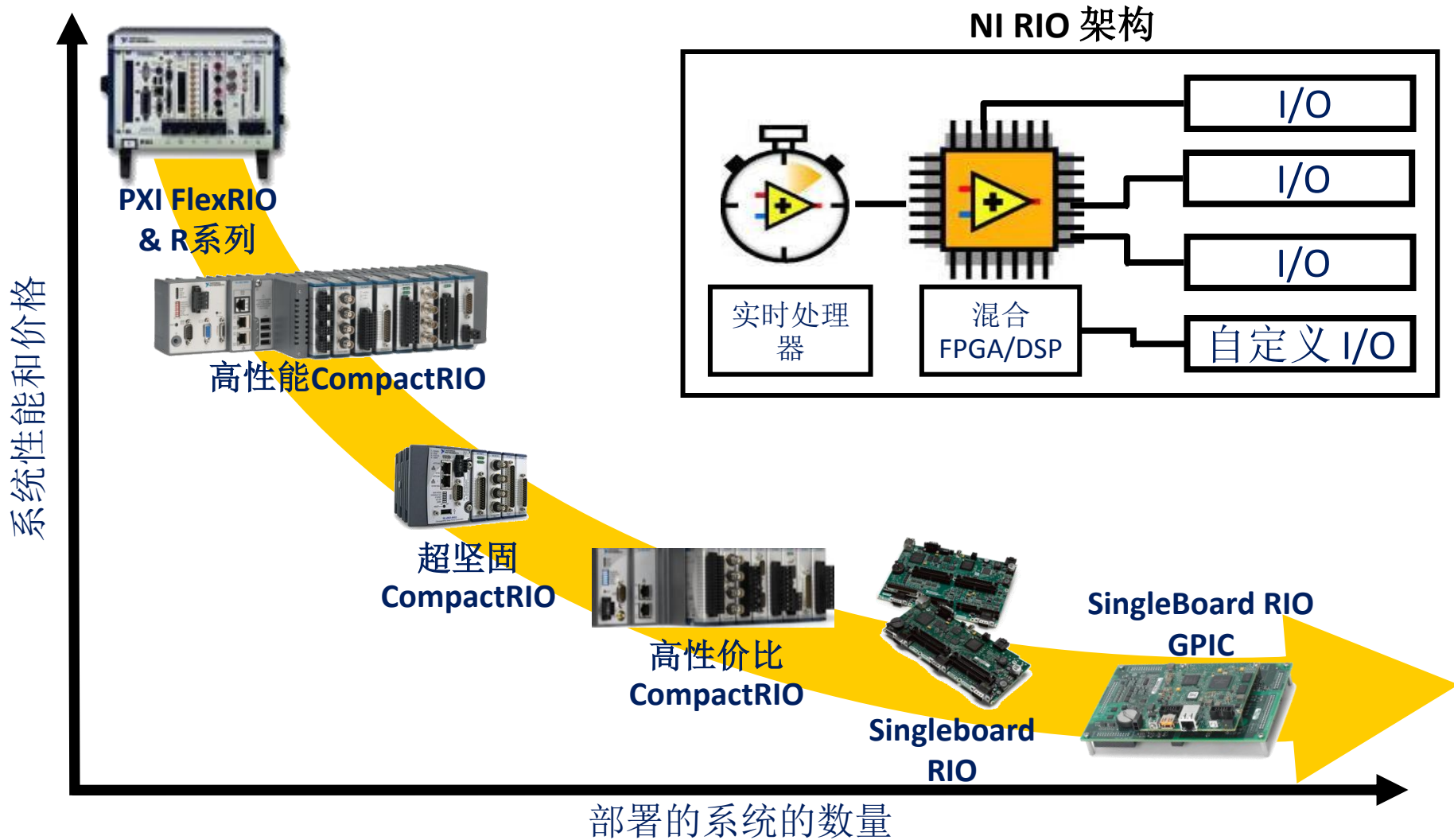


处理器和FPGA的摩尔定律



数模转换器(ADC)的摩尔定律-历史数据

# NI RIO部署曲线

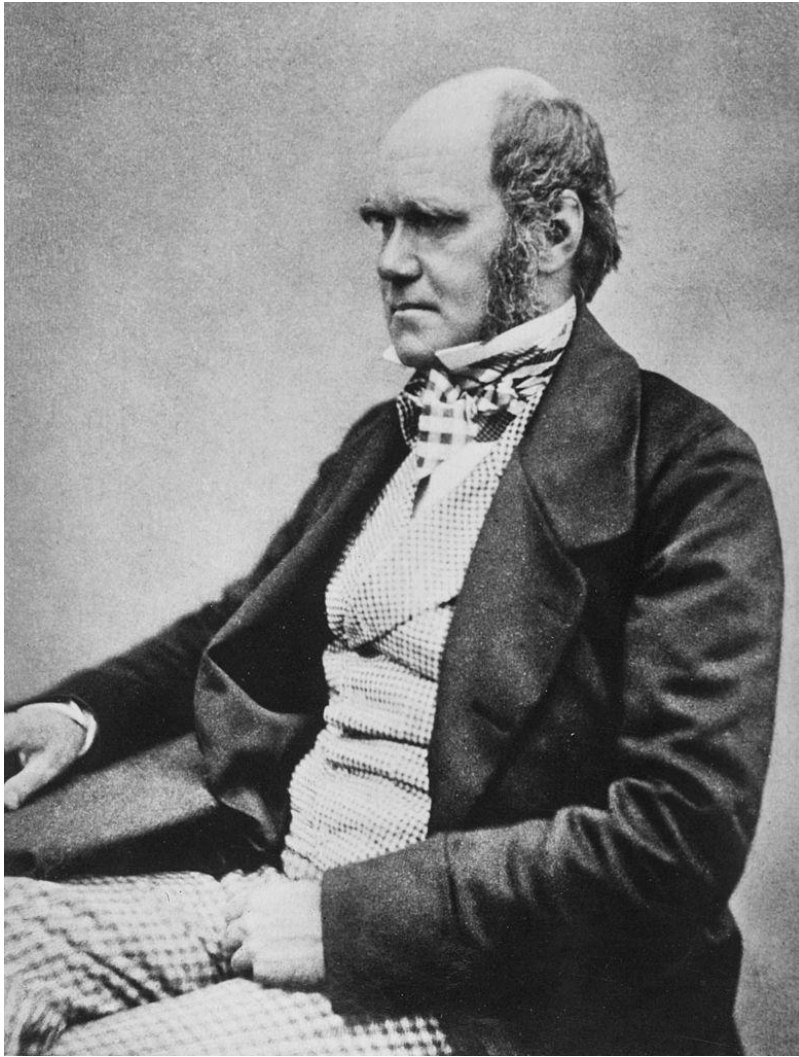




# 数字能源革命： 适应电力行业的巨大变革



Owen Golden—NI全球能源部门副总裁



“能够生存下来的物种并非那些最强壮的，也不是最聪明的，而是最能适应变化的。”

查尔斯·达尔文

ni.com





# THE ***DIGITAL ENERGY REVOLUTION***

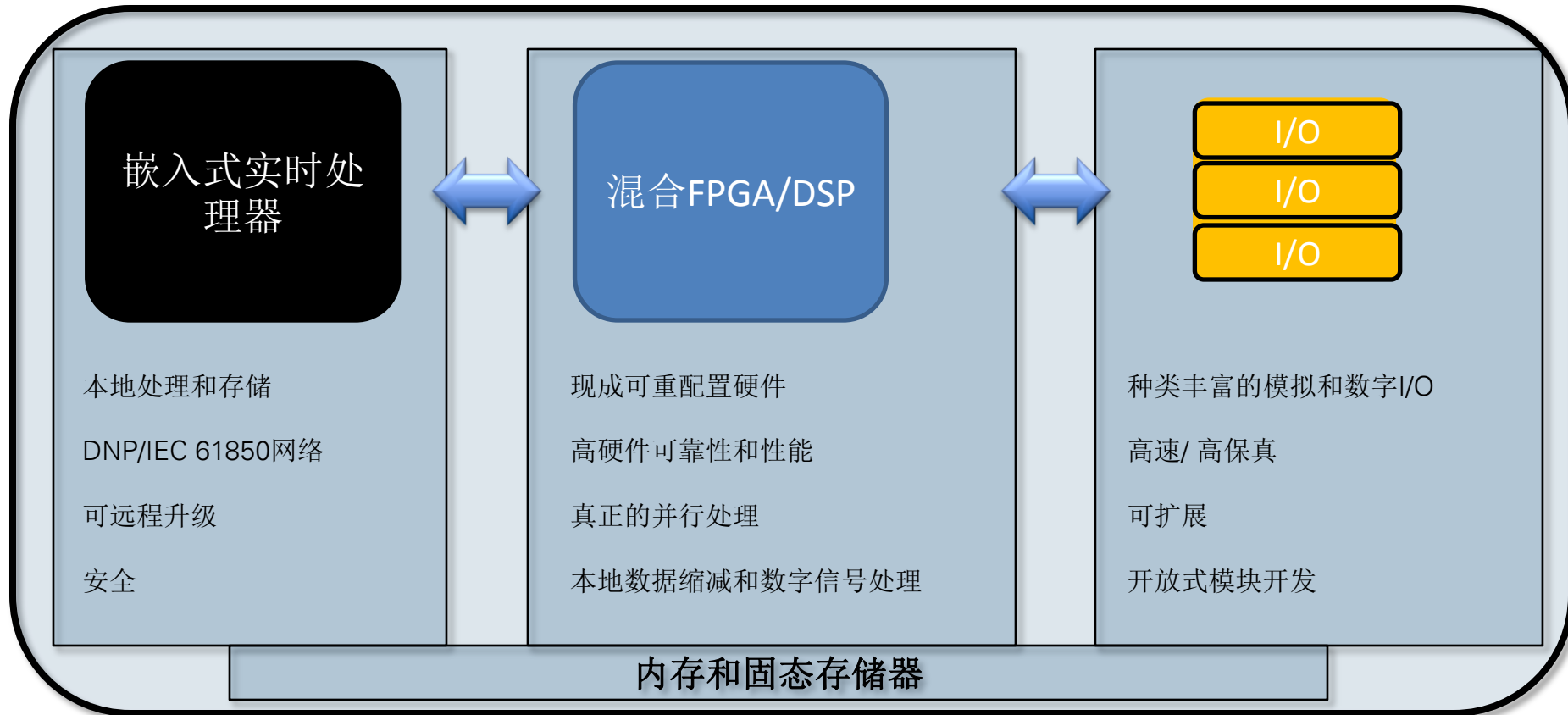
See how graphical system design  
changes how we manipulate,  
move, and store energy.



“传统工具是时候退出历史舞台了。”

Dr. James Truchard  
NI总裁、CEO兼创始人

# 智能电子设备最理想的硬件平台是什么？



工作温度范围为 -40 C至 +70 C | 50 g 抗震

无移动组件| 体积小巧

IEEE C37.90 认证| 安全远程升级



# 基于FPGA的NI CompactRIO平台

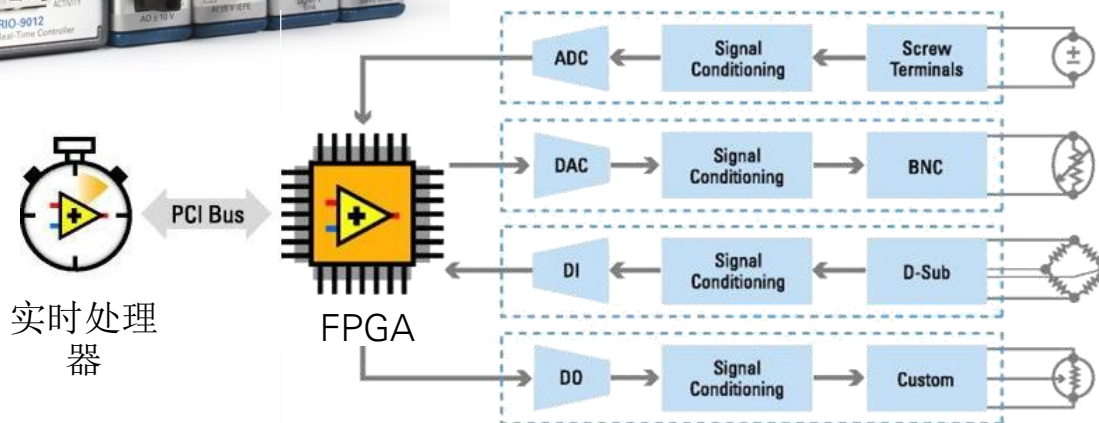


## 环境

- -40 - 70 °C 温度范围
- 50g 抗震, 5g 防震动

## 低能耗

- 9 - 35 VDC 电源, 典型功率为7-10 W



- 可重配置FPGA，用于高速和自定义I/O 定时、触发和控制
- I/O 模块，具有用于连接传感器和激励器的内置信号调理
- 实时处理器，用于可靠测量、分析、连接和控制
- 根据电气和环境标准进行广泛的测试

# 可满足性能/成本需求的控制器选项

## 高性能系统



1.33或1.06 GHz 双核  
Windows 或 RT 操作系统  
FPGA  
2 GB RAM  
16 GB本地存储器  
8 槽

## 成本优化的系统



400 Mhz Power PC  
RT操作系统  
FPGA  
高达256 MB RAM  
高达512 MB本地存储器  
4或8槽

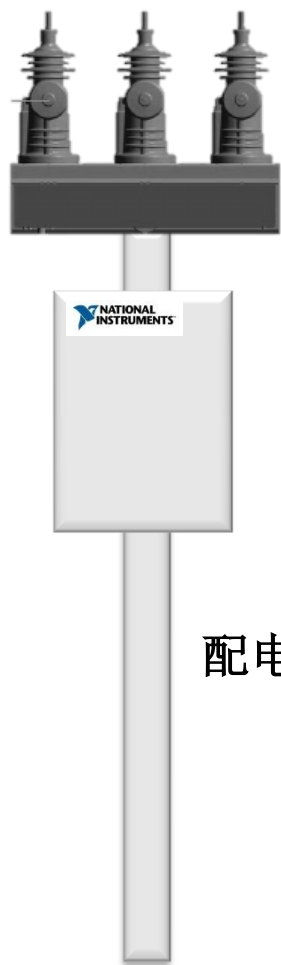


## 模块化超坚固系统



800 Mhz Power PC  
RT操作系统  
FPGA  
高达256 MB RAM  
高达4 GB本地存储器  
4或8槽

# 先进的智能配电开关



- 先进的自动配电分析
- 先进的开关特性开发和介绍
- 嵌入式电能测量和监测
- 用于配置和文件转换的无线通信
- 远程更新、配置和固件升级

## 配电开关

- 38kV 额定通过电压
- 真空中断技术
- 集成式CT & 电压传感器
- 未来可选升级
  - ANSI / IEEE C37.60
  - 3相保护

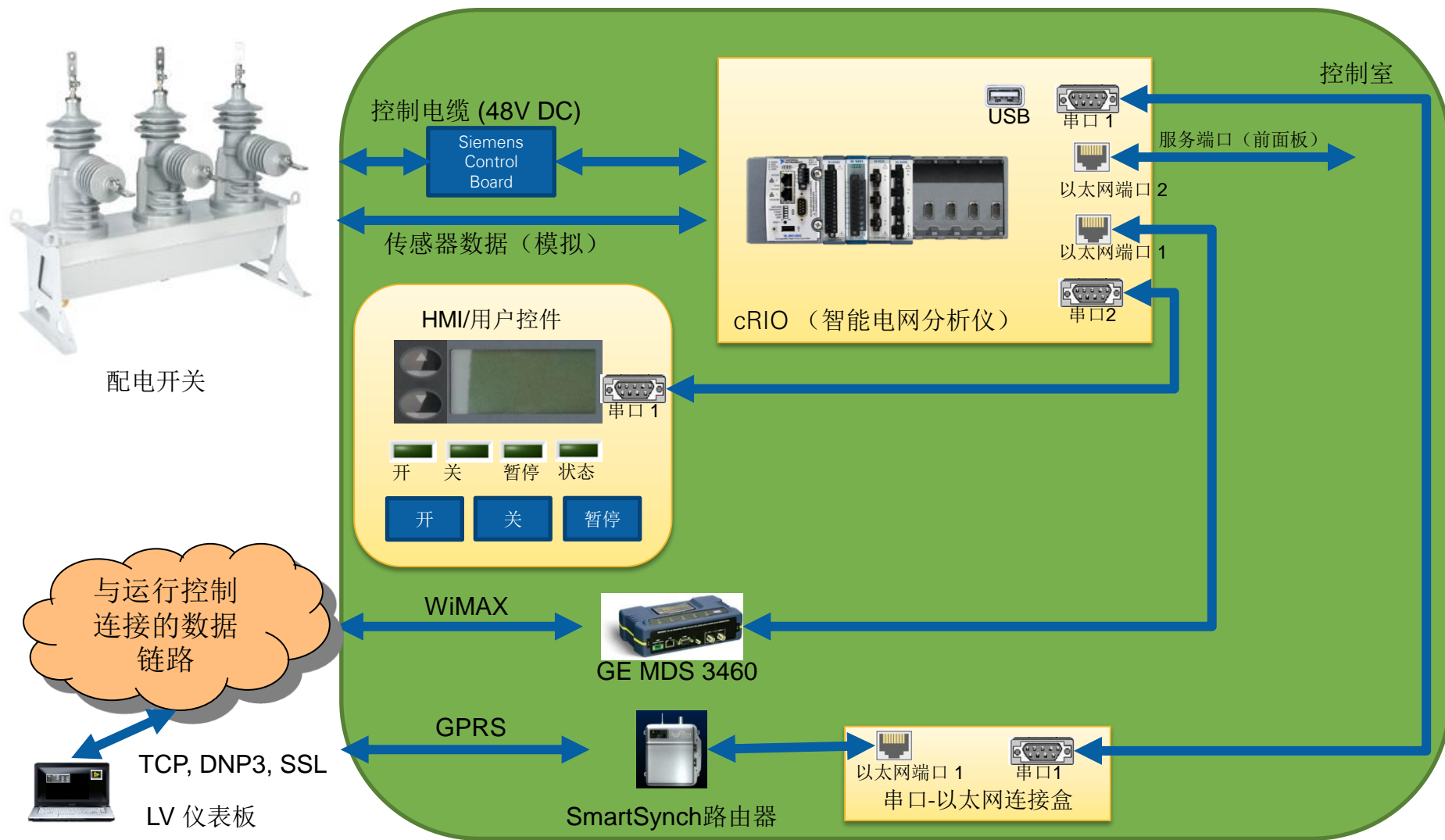


## 分析 (NI 智能电网分析仪)

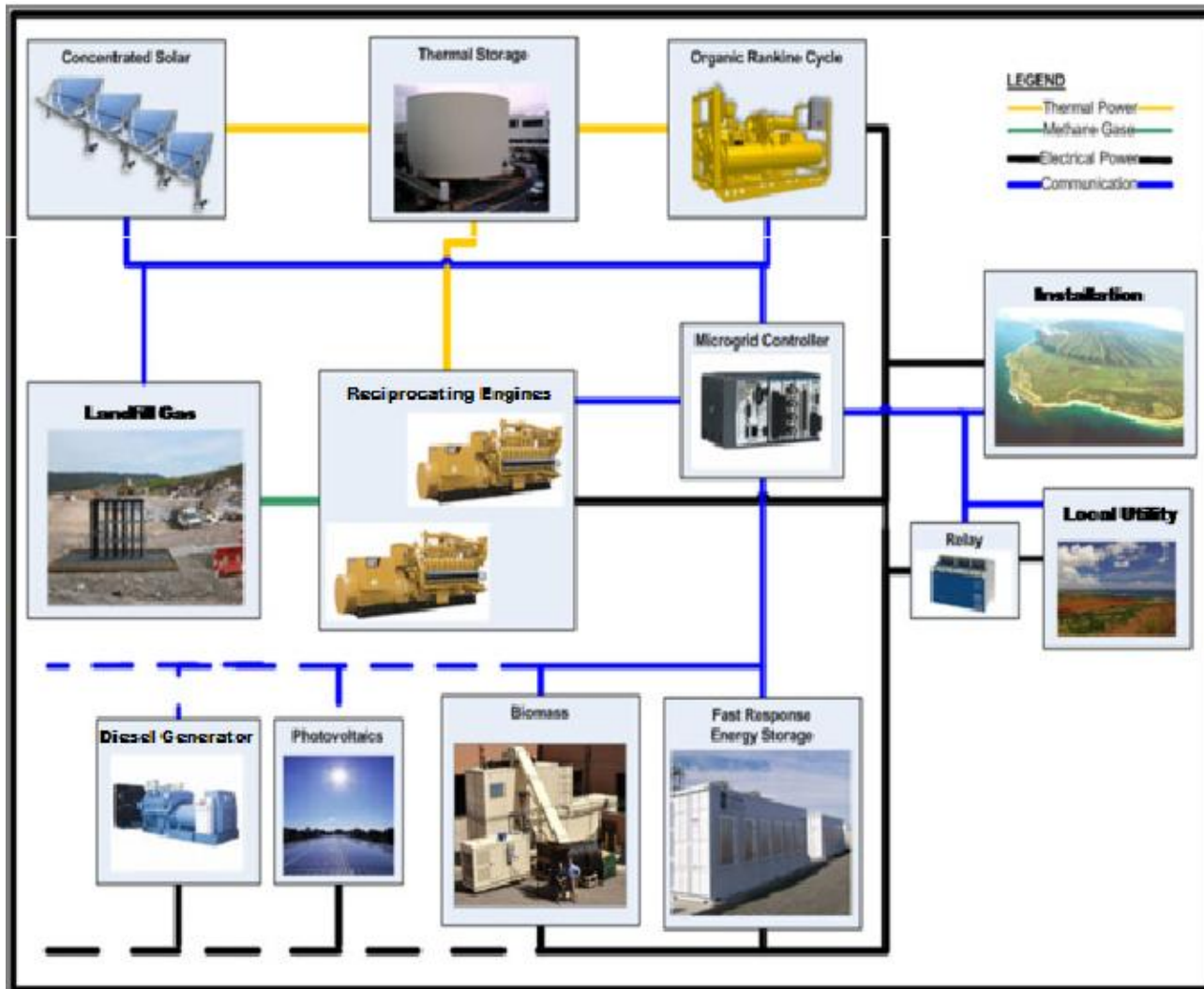
- 833 采样/循环, 24位分辨率
- 先进的嵌入式分析
- 数据存储, 1000多个事件捕捉
- 远程升级
- 多协议通信



# 先进的开关系统结构图

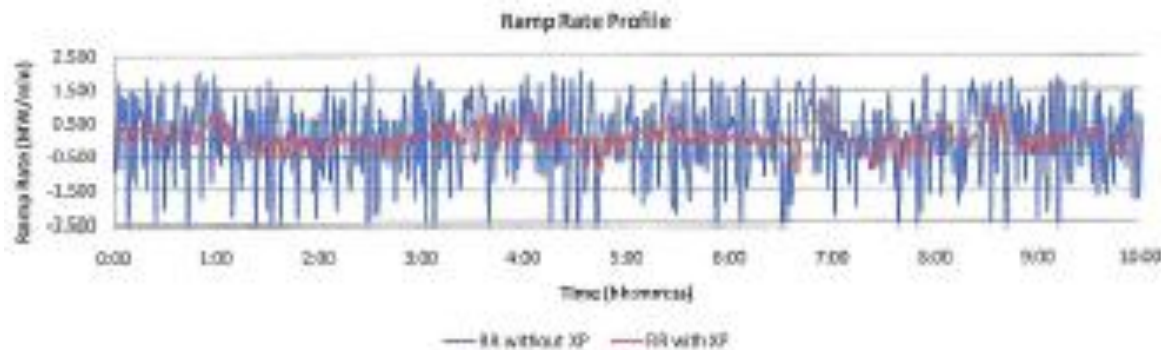


# 微型电网



## 分布式能源资源

- 2009年首次全电厂部署
  - 80-200 兆瓦电网，30兆瓦风电场，1.0 兆瓦时储能
- 电能存储平台可：
  - 减少输电
  - 斜坡控制/ 时间偏移
  - 电网频率/ 电压调节支持
- NI平台可用于：
  - 电池管理和监测
  - 高速/ 次循环监控



# 配电故障早期检测

- 高速采样
- 高保真测量
- 高级分析
- 更精确的故障定位

## Fault investigation



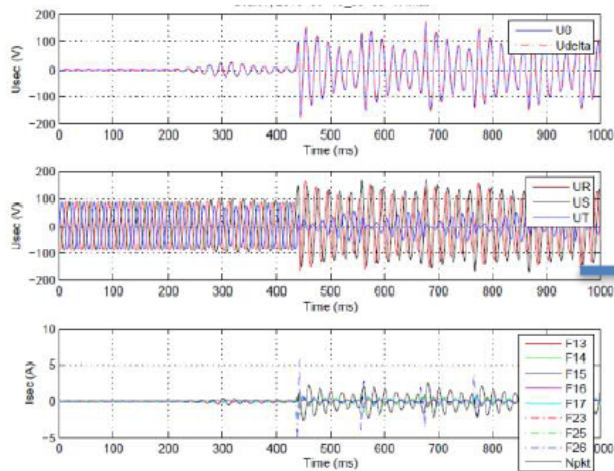
**e-on**  
Energie



Figure 2: Two complete disturbance recorders



## Automatic fault analysis



One application that is under development is automatic fault analysis. The fault analysis can provide a fast way to point out faulted feeder and typical data can be: type of fault, faulted feeder, estimated fault resistance, extreme values of currents and voltages. For smaller power utilities with limited internal resources, the analysis opens the possibility to detailed disturbance analysis, without engaging consultants. For large utilities with own analysis groups, it can also be a significant contribution to improve efficiency and quality of fault investigations.

=====

Results from DLAB Fault Analysis, version: Beta 1.0

---

Station name: example\_station

File Date: 2011-09-06

File Time (hh-mm-ss): 05-47-44 GMT

Max (U0): 76.2 V rms sec

Max (IR,IS,IT): 1478 A rms prim

Total time when U0 > pickup value (5 V): 810 ms

Total time when earth fault is connected: 52 ms

Number of strikes: 6

-----

Calculated probability for faulted feeder by 50Hz-method

Feeder 13: 0.0 procent

Feeder 14: 0.0 procent

Feeder 15: 0.0 procent

Feeder 16: 0.0 procent

Feeder 17: 0.0 procent

Feeder 23: 0.2 procent

Feeder 25: 0.0 procent

Feeder 26: 99.8 procent

Most likely faulted feeder by 50Hz-method: Feeder 26

Fault resistance by LF-method: 3 ohm

Max (3I0) for faulted feeder: 813.0 A rms prim

Max peak value for (3I0) for faulted feeder: 1072.0 A peak prim

-----

Calculated probability for faulted feeder by transient method

Feeder 13: 0.0 procent

Feeder 14: 0.0 procent

Feeder 15: 0.0 procent

Feeder 16: 0.0 procent

Feeder 17: 0.0 procent

# 图形化系统设计

图形化编程

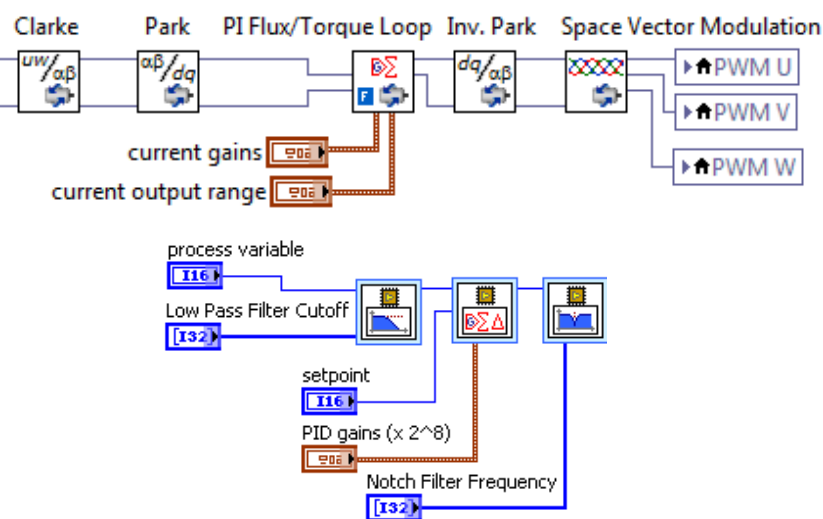
桌面协同仿真

自动编译

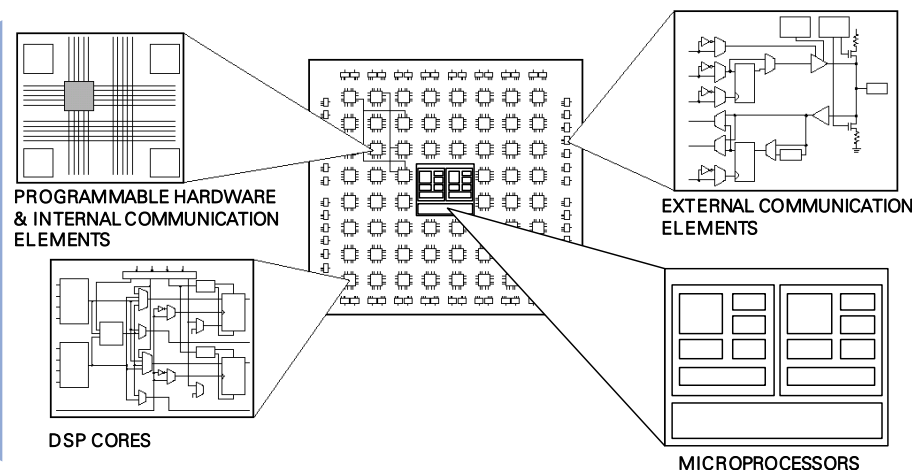
自动合成

自动布局  
布线

部署

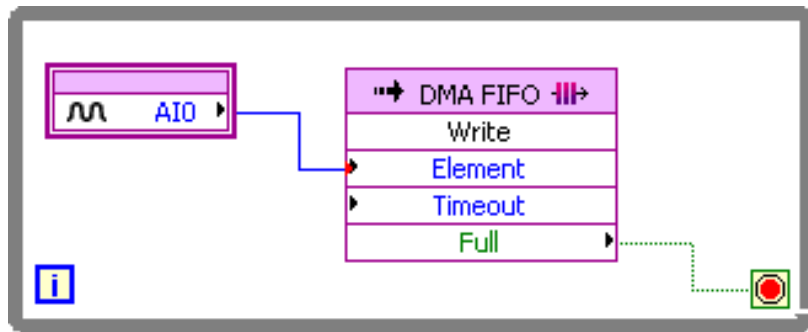


LabVIEW FPGA



混合DSP-uP-FPGA

# LabVIEW FPGA vs VHDL



计数器

模拟I/O



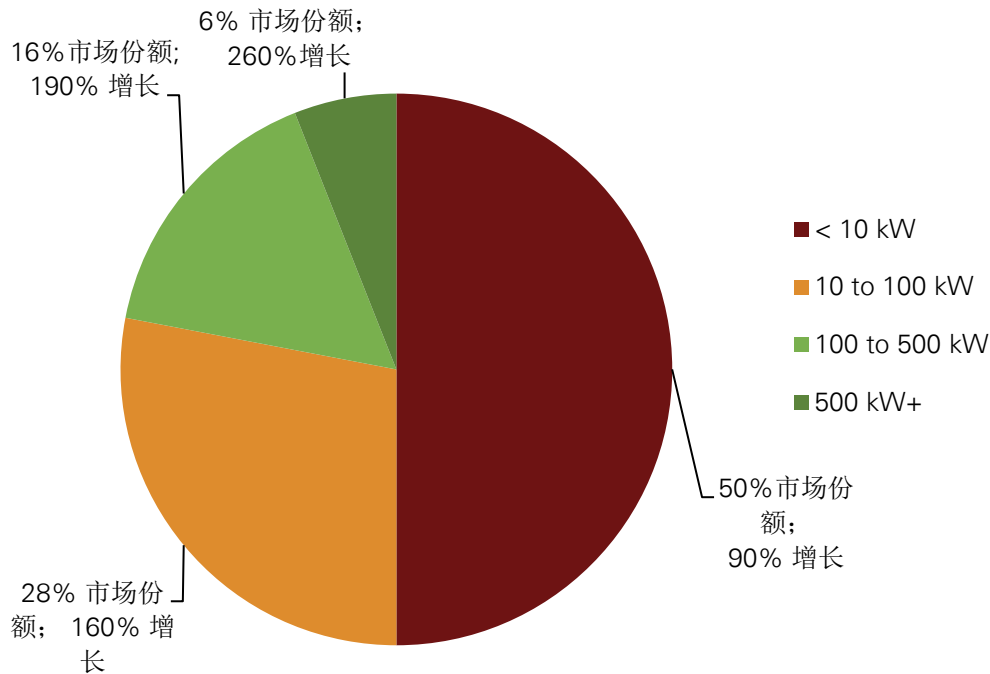
66 页 ~4000行

数据流盘

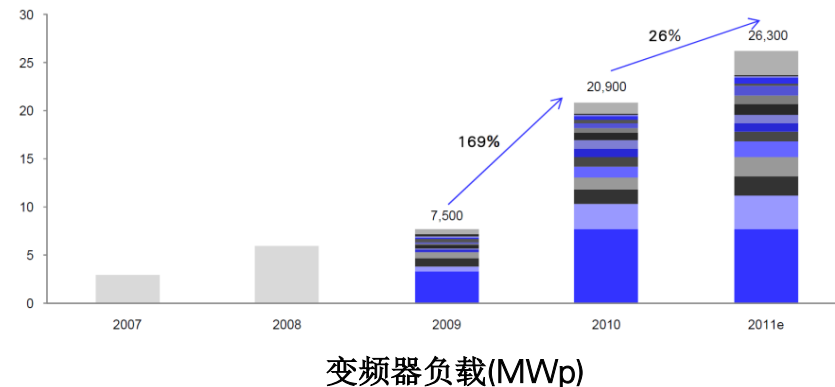
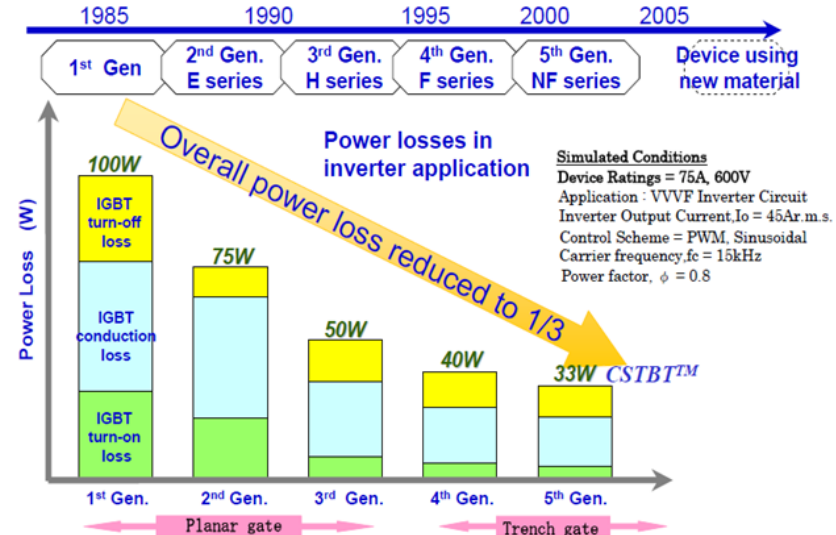
# 电力电子应用的爆炸式增长

“自从工业革命以来，除了战争，没有哪个单项国家财政投入比可再生能源更多。”- Glenn A. Knierim博士，Infinity Physics创始人

## 太阳能变频器市场 (2010)



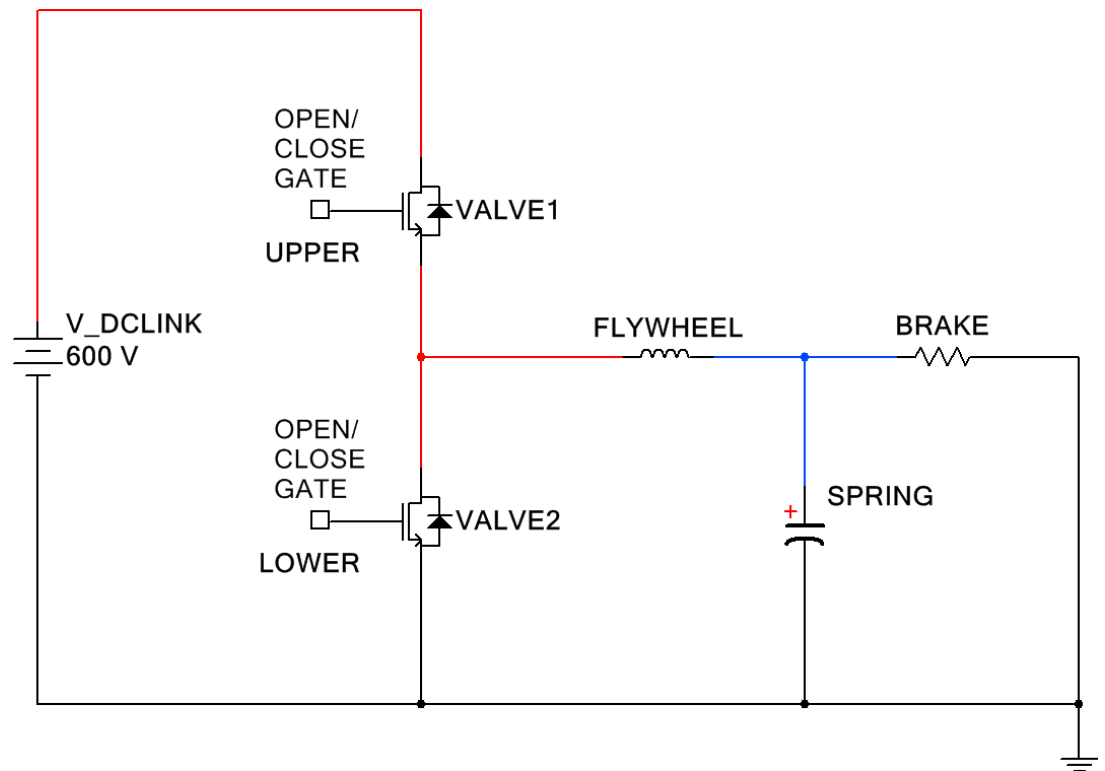
ni.com





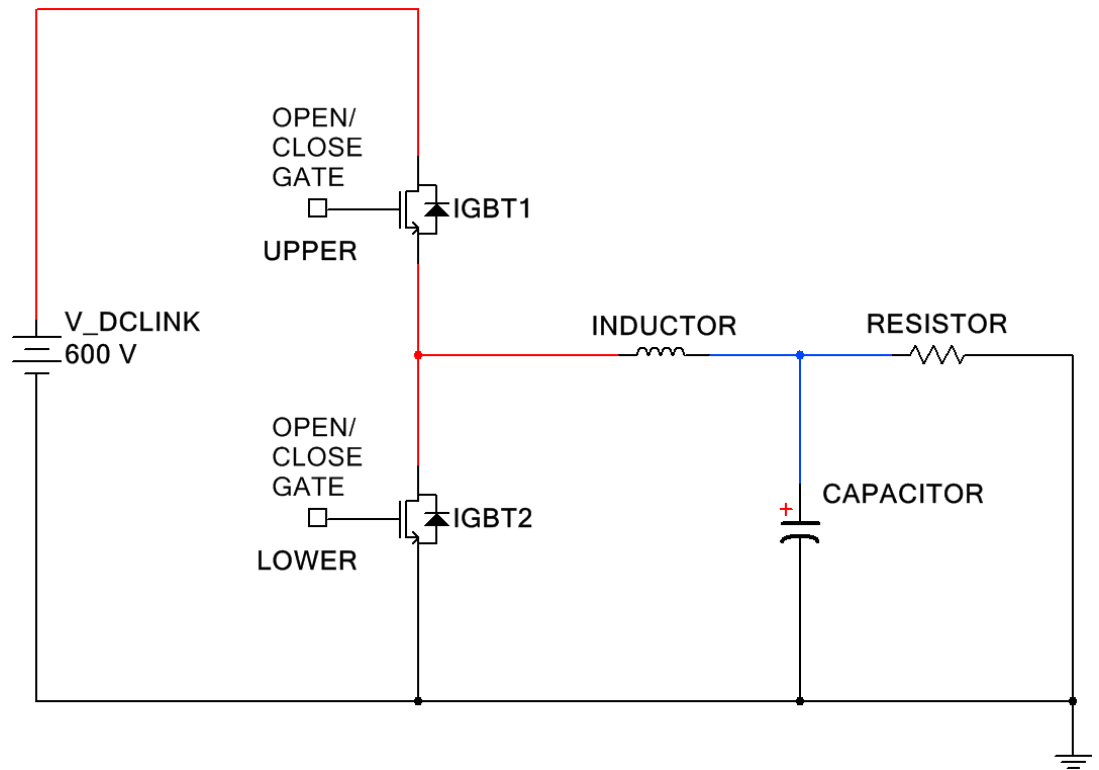
# 电力电子

## 数字能源革命的汽缸和活塞



# 电力电子

## 数字能源革命的汽缸和活塞

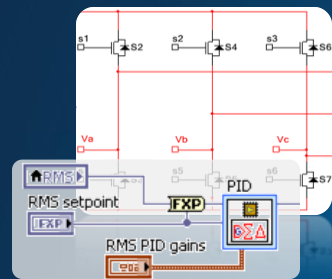


# 设计目标和权衡

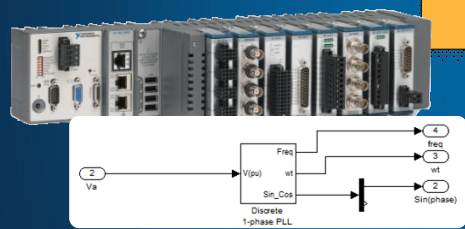
- 同时针对多个设计目标进行优化，包括：
  - 能源效率
  - 成本
  - 组件生命周期
  - 系统可靠性
  - 法规遵循
  - 可直接用于智能电网
  - 差异化特性
  - ...
  - ...

# NI 致力于为数字能源 “完成V设计流程”

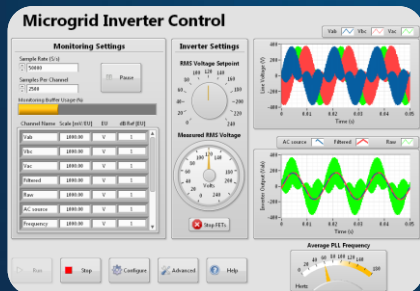
图形化协同仿真  
(Multisim, LabVIEW FPGA)



快速控制原型  
(电能质量分析)



商业部署  
(通用变频控制器)



设计

测试  
单元

原型

HIL  
测试

部署

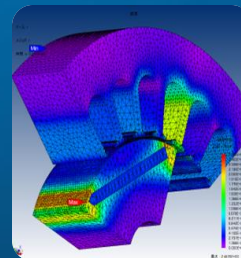
电力电子测试



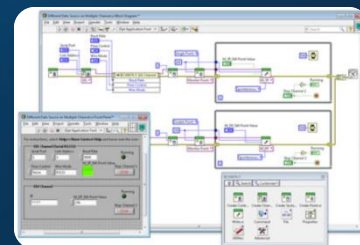
数字测功仪  
和电网仿真器



实时HIL仿真  
(状态空间和基于FEA)

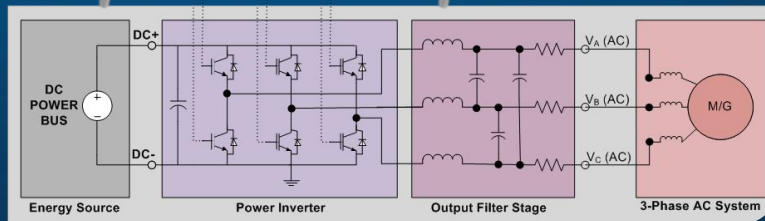
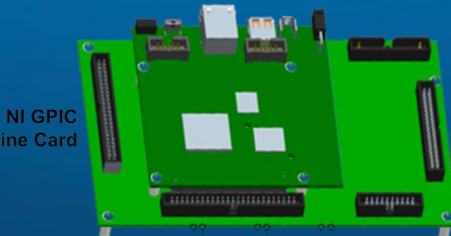


电厂网络  
(IEC-61850, DNP3, ...)



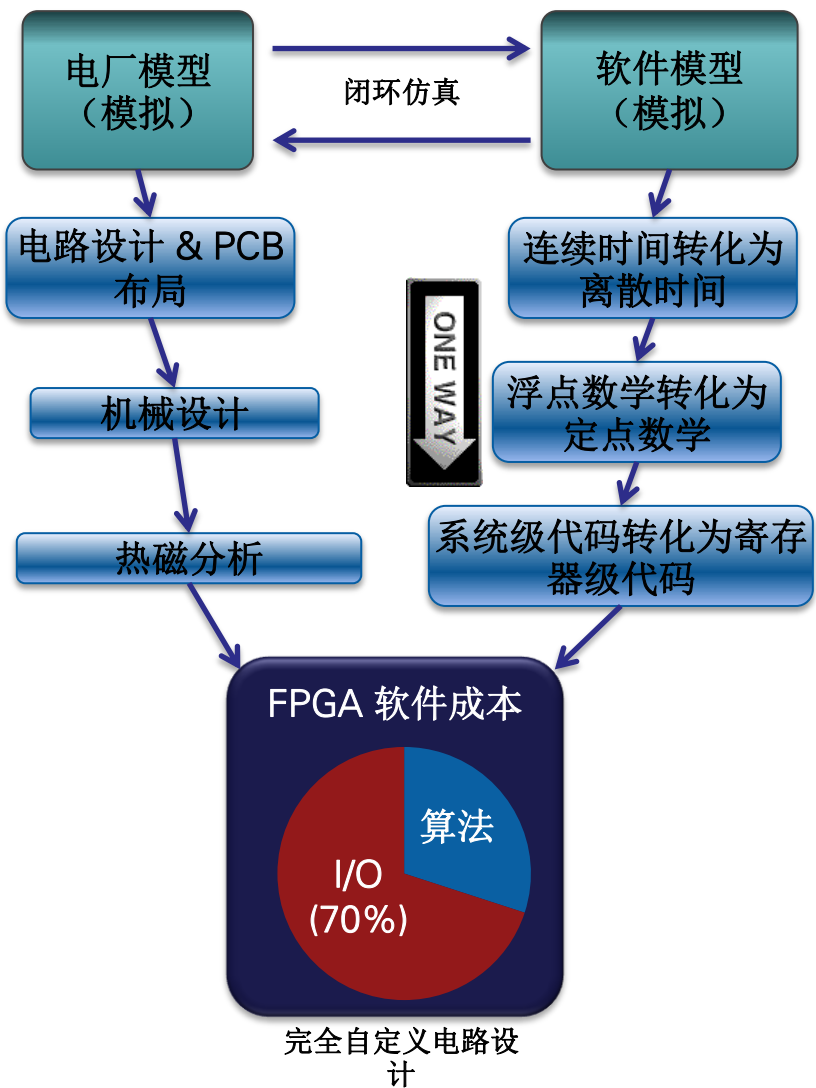
NI sbRIO-9606

NI GPIC  
Mezzanine Card

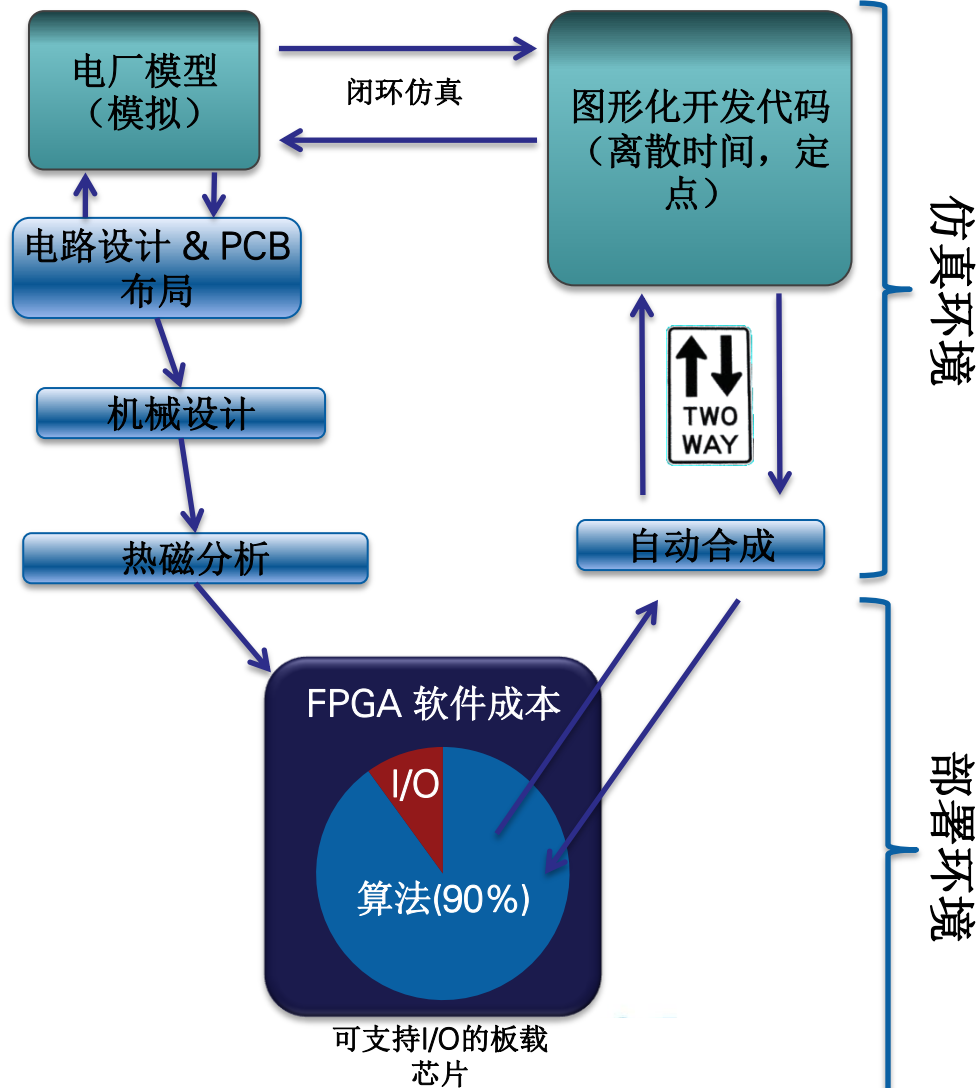


# 系统级设计的演变

## 传统方法

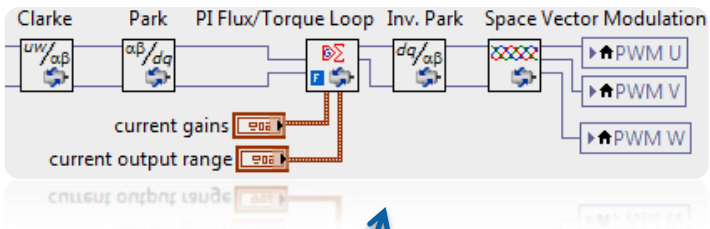


## 推荐方法

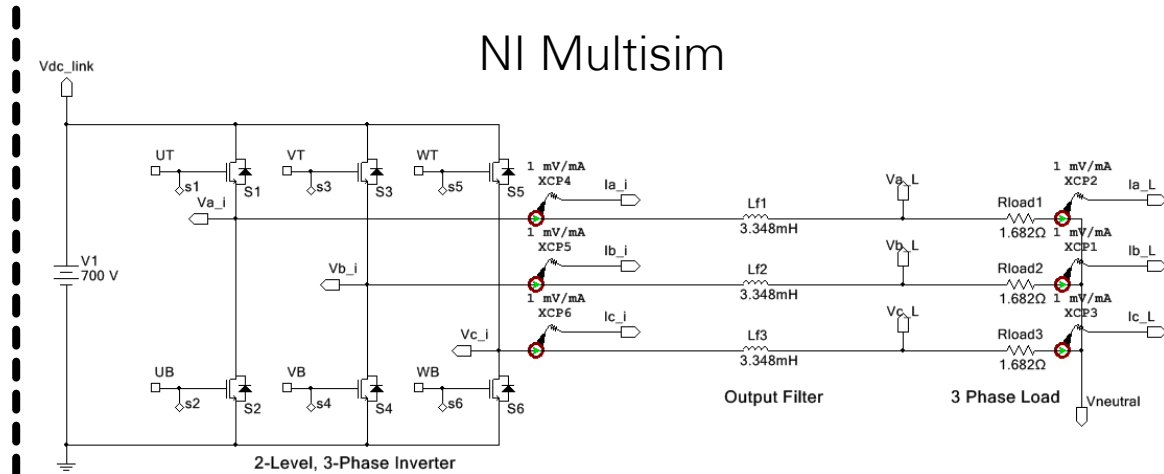


# 自变时步FPGA协同仿真

## NI LabVIEW FPGA

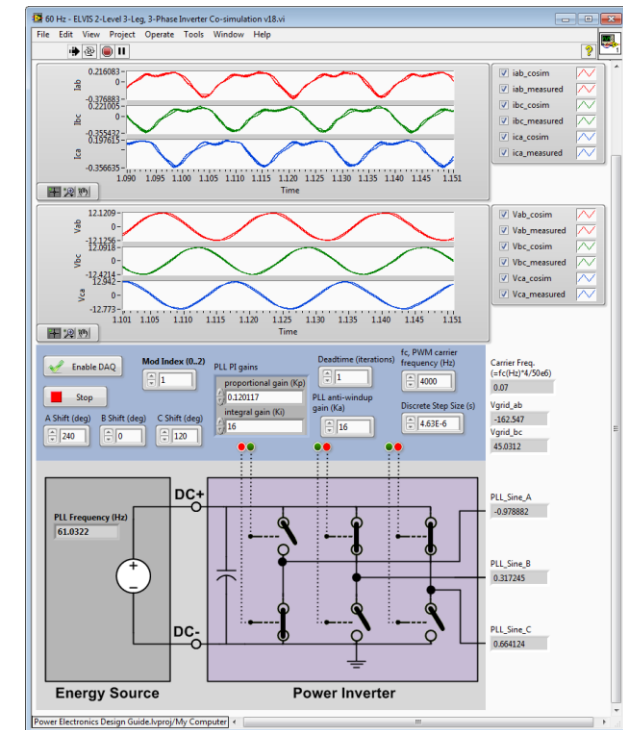
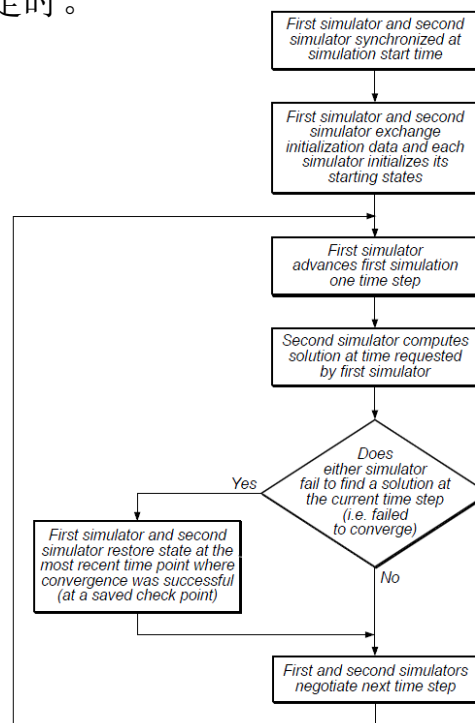


## NI Multisim



仿真和部署时嵌入式软件具有相同的行为和定时。

- 自变时步FPGA协同仿真技术实现了FPGA和开关模式电源系统之间闭环交互的精确仿真。



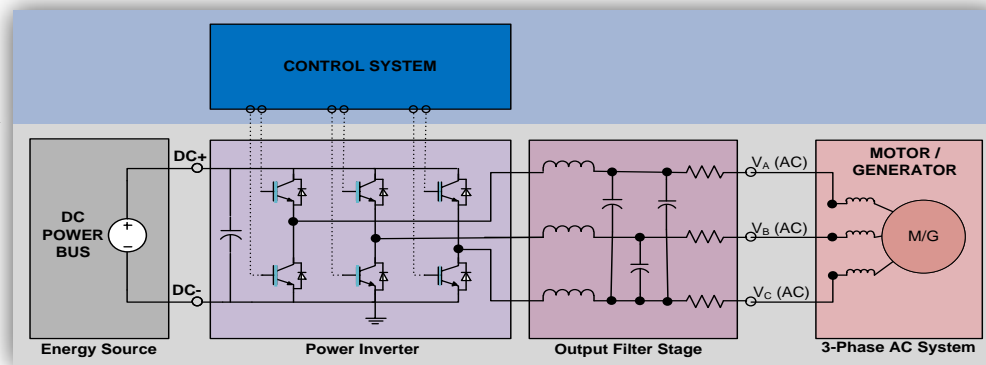
# NREL、CEC 和 NI携手合作，开发下一代变频控制

产品：Single-Board RIO, CompactRIO, LabVIEW, LabVIEW Real-Time, LabVIEW FPGA

Dr. Bill Kramer, 国家可再生能源实验室



挑战：推动下一代智能电力电子控制系统设计、原型和部署的创新，同时降低开发成本和风险。



解决方案： NREL与NI携手合作，开发了一个基于Single-Board RIO 的变频控制平台。利用COTS 硬件和常见的建模工具，我们能够使用图形化系统设计方法更快速地原型和部署下一代控制算法。



SB-RIO通用变频控制器(GPIC)概念

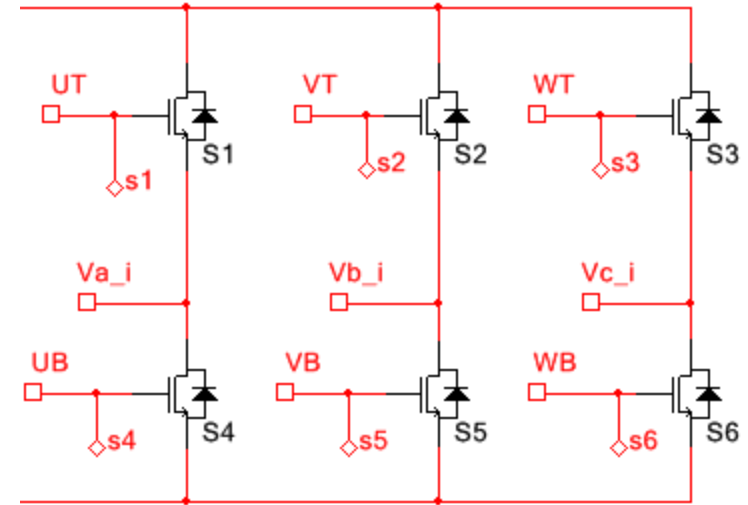
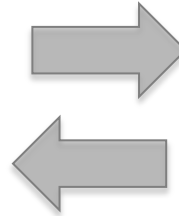
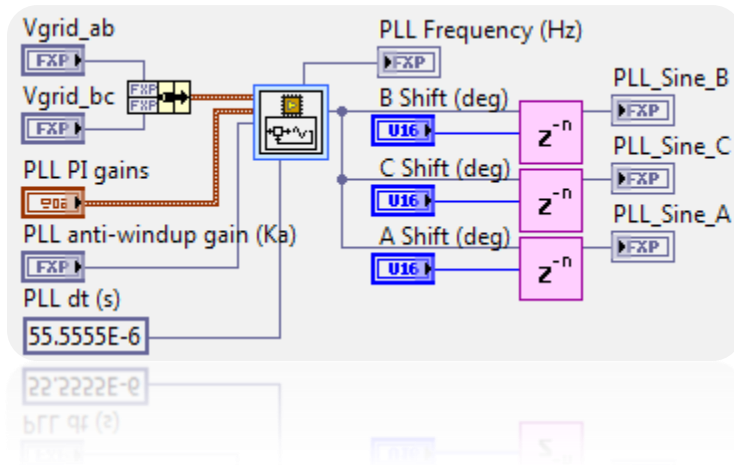
“借助NI Single-Board RIO和LabVIEW图形化编程工具，我们现在能够以前所未有的速度通过仿真和高级算法从原型快速过渡到高容量、可部署的终端。”



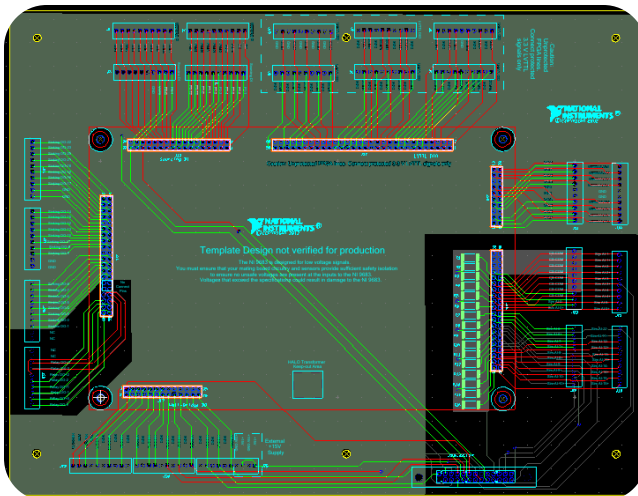
# NI GPIC设计流程

1. 协同仿真, 2. 接口板卡设计, 3. 商业部署

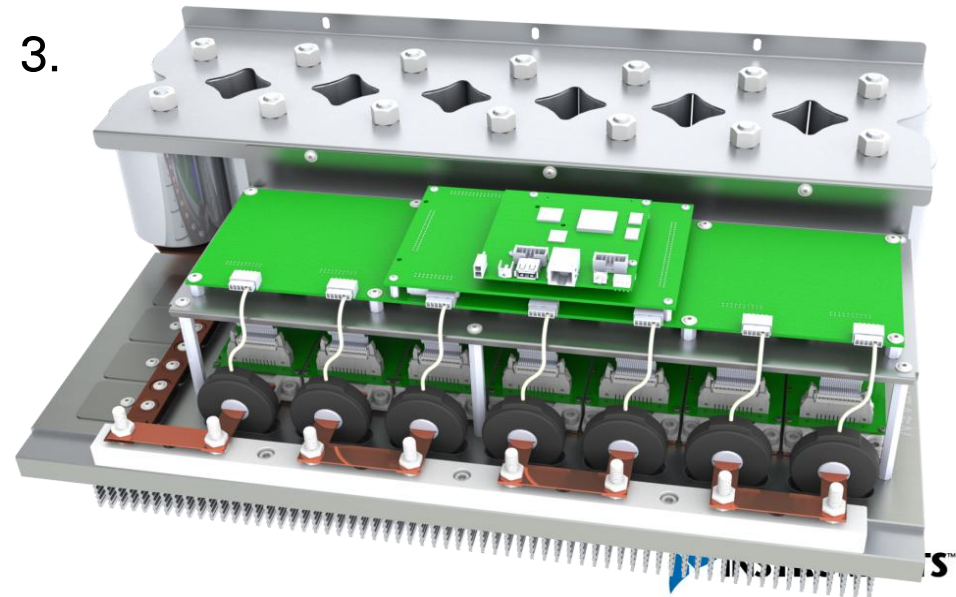
1.



2.



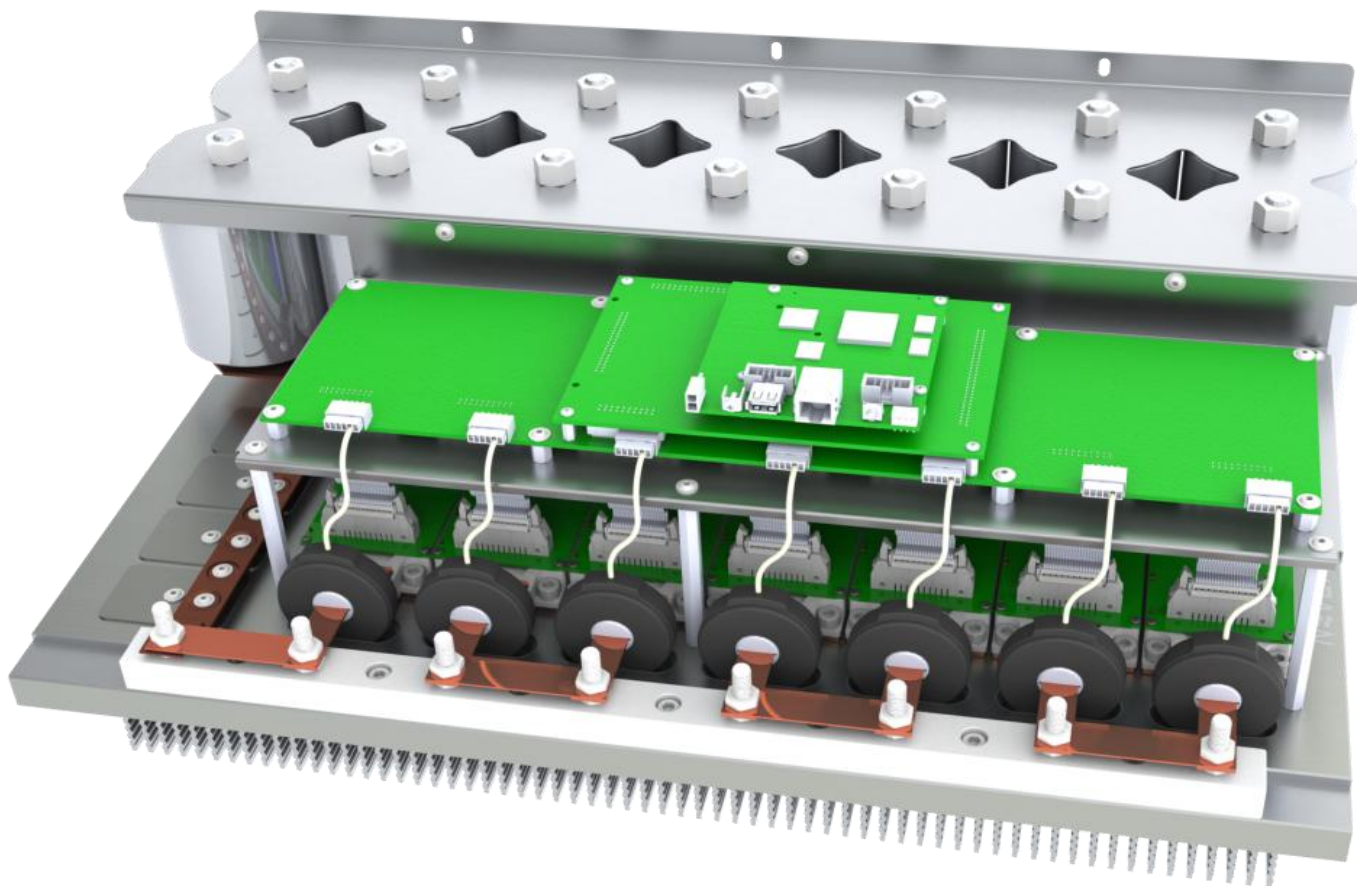
3.





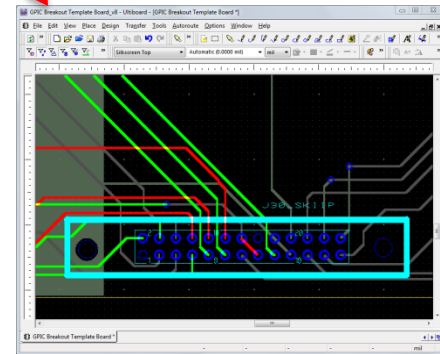
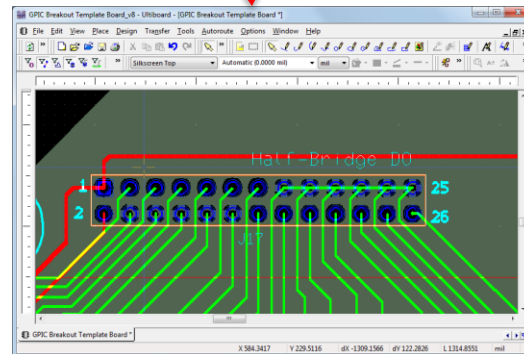
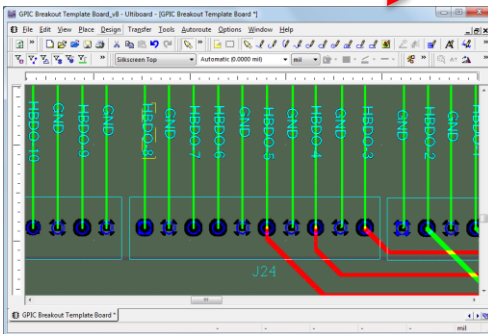
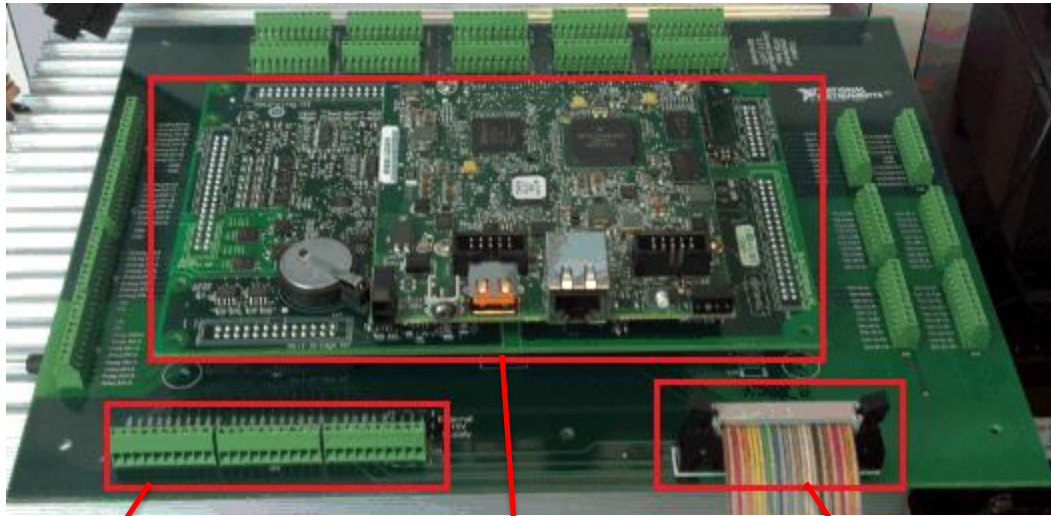
# 用户定义的接口板卡

1. NI Single-Board RIO sbRIO-9606
2. NI GPIC 9683 RIO夹层卡（底部定位连接器）
3. 自定义接口或栅极驱动PCB（非NI提供）

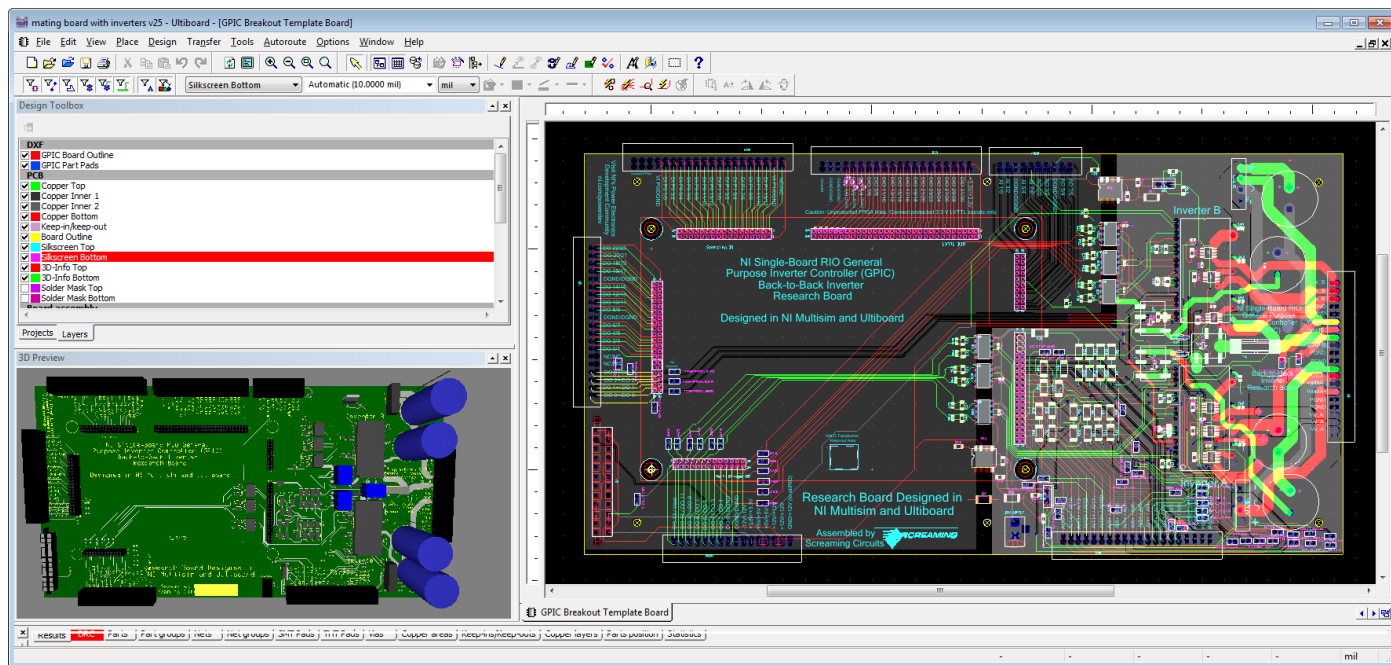
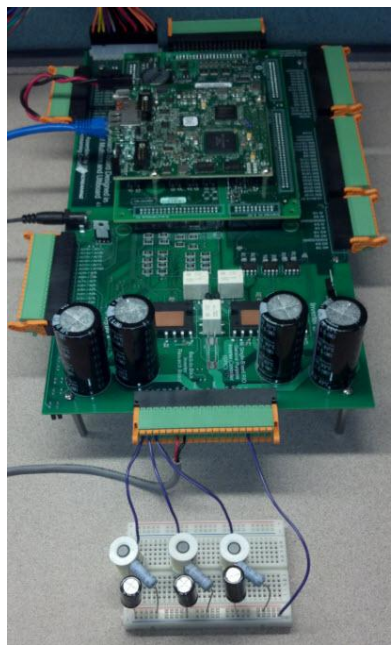


# GPIC开源接合PCB设计

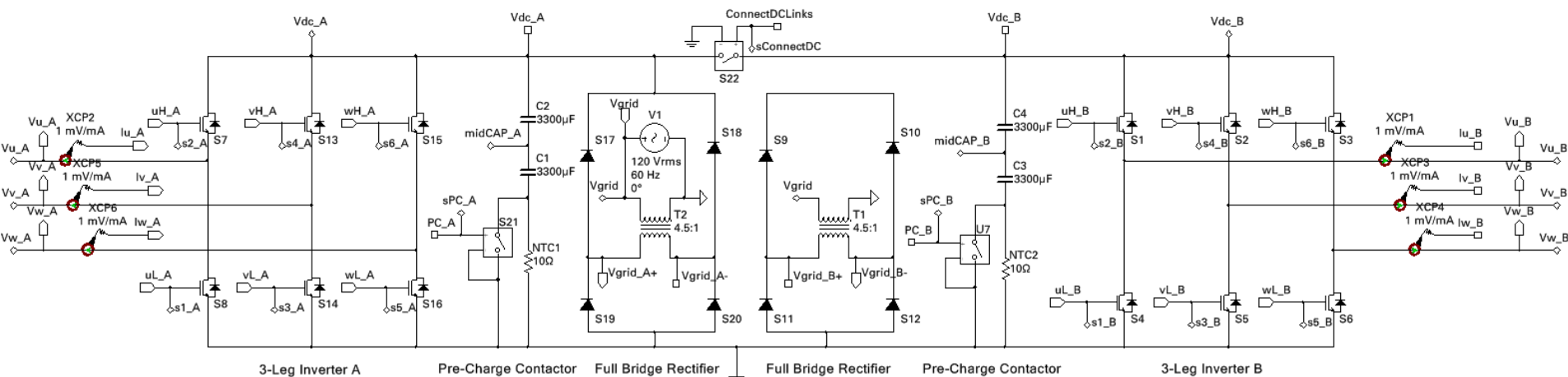
- Semikron SKiiP 3 连接器
- 用于GPIC输入的分组连接器



# 微型电网仿真：开源功率流控制变频器研究板卡

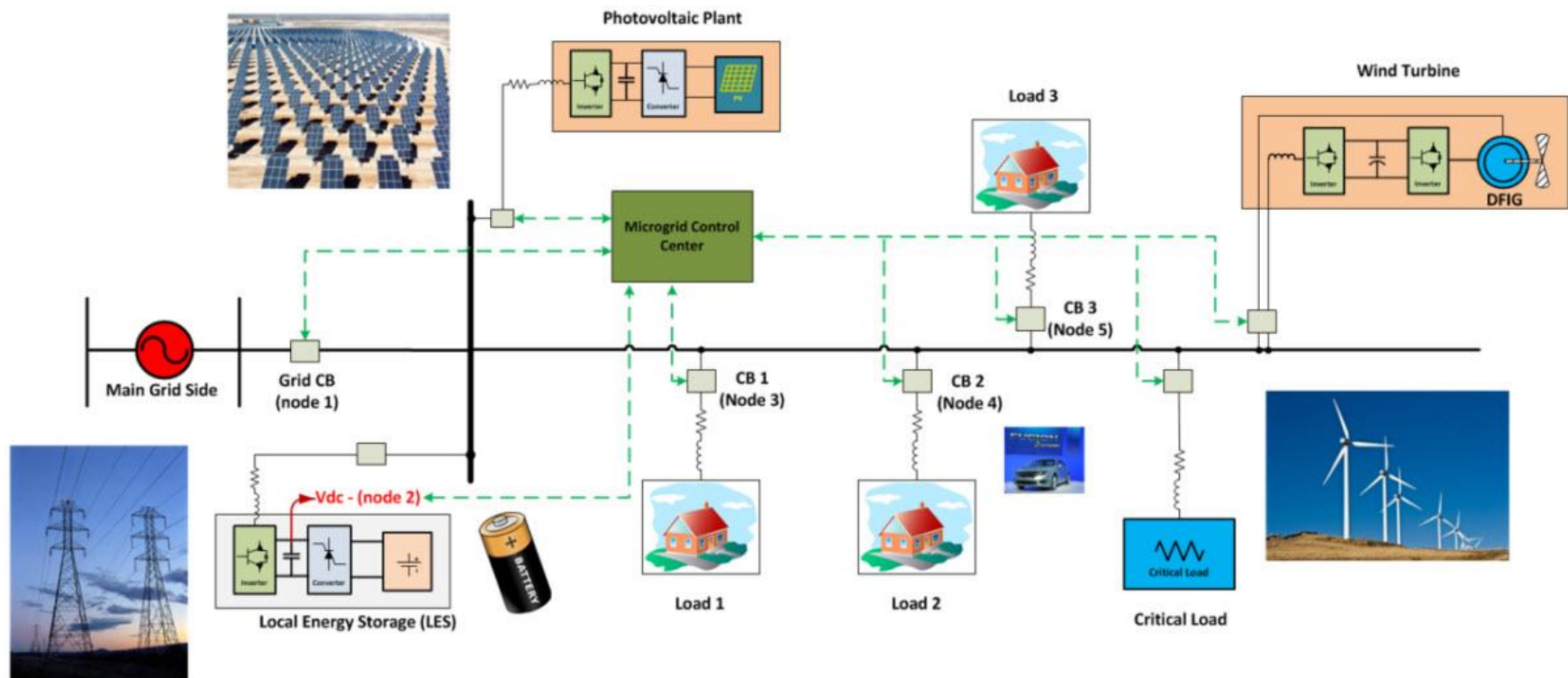


NI Single-Board RIO General Purpose Inverter Controller 3-Phase Back-to-Back Inverter Research Board



# 智能电网 & 微型电网控制系统

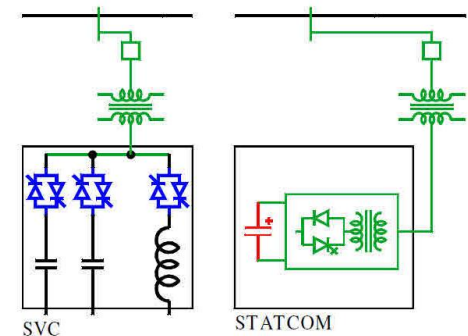
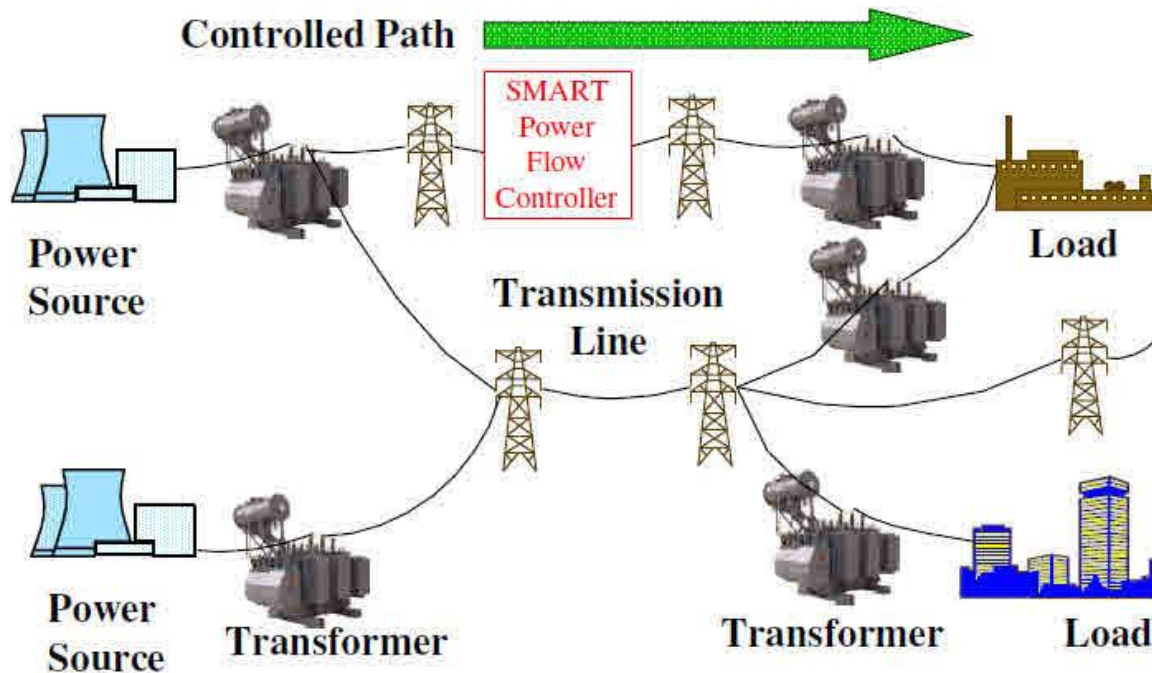
- 用于智能电网和微型电网应用的变频器
- 用于分布式控制系统的IEC 61850接口



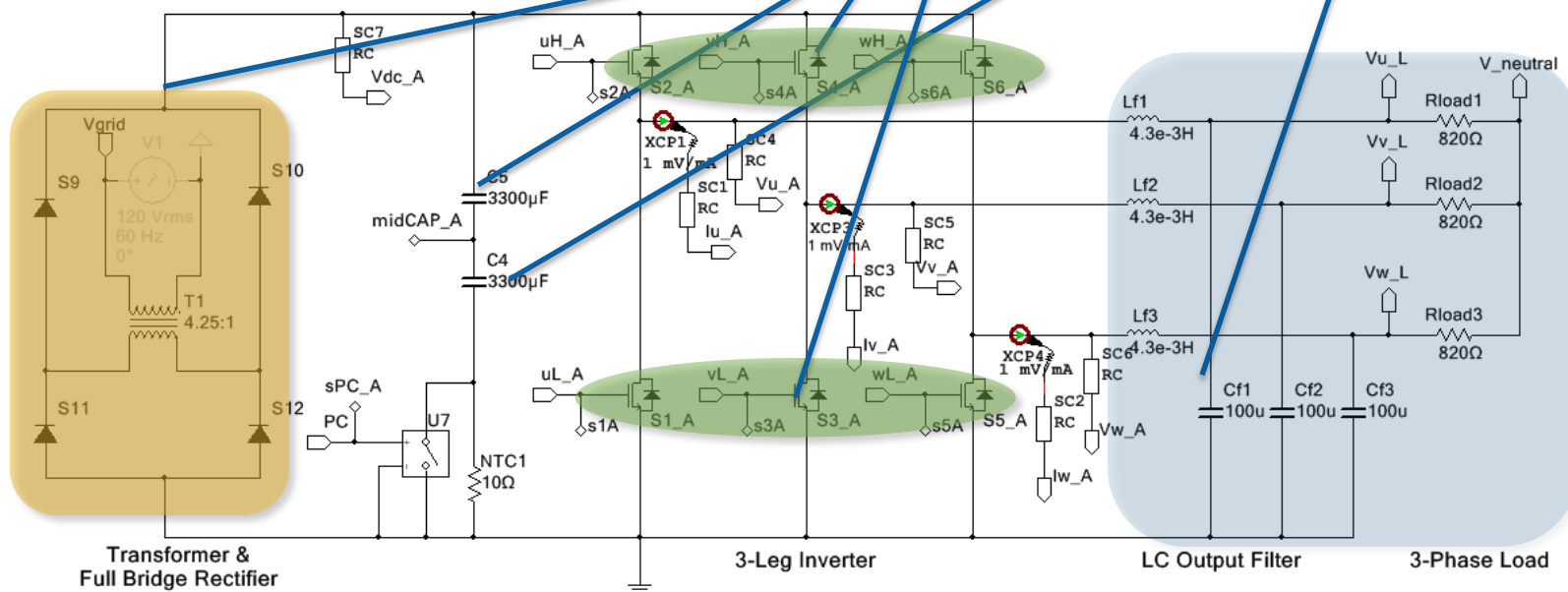
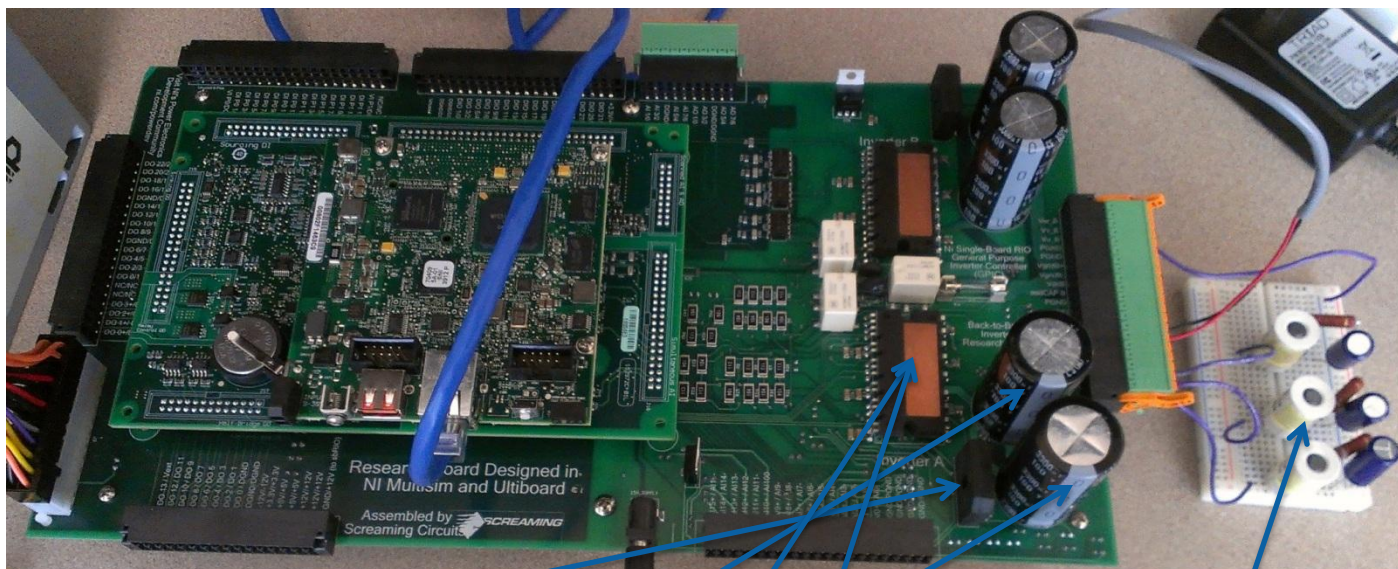


# 柔性交流输电(FACTS)

- 用于智能电网的变频器
- 功率流控制和功率因子修正
- 高压直流输电站



# 开源背对背变频器研究板卡

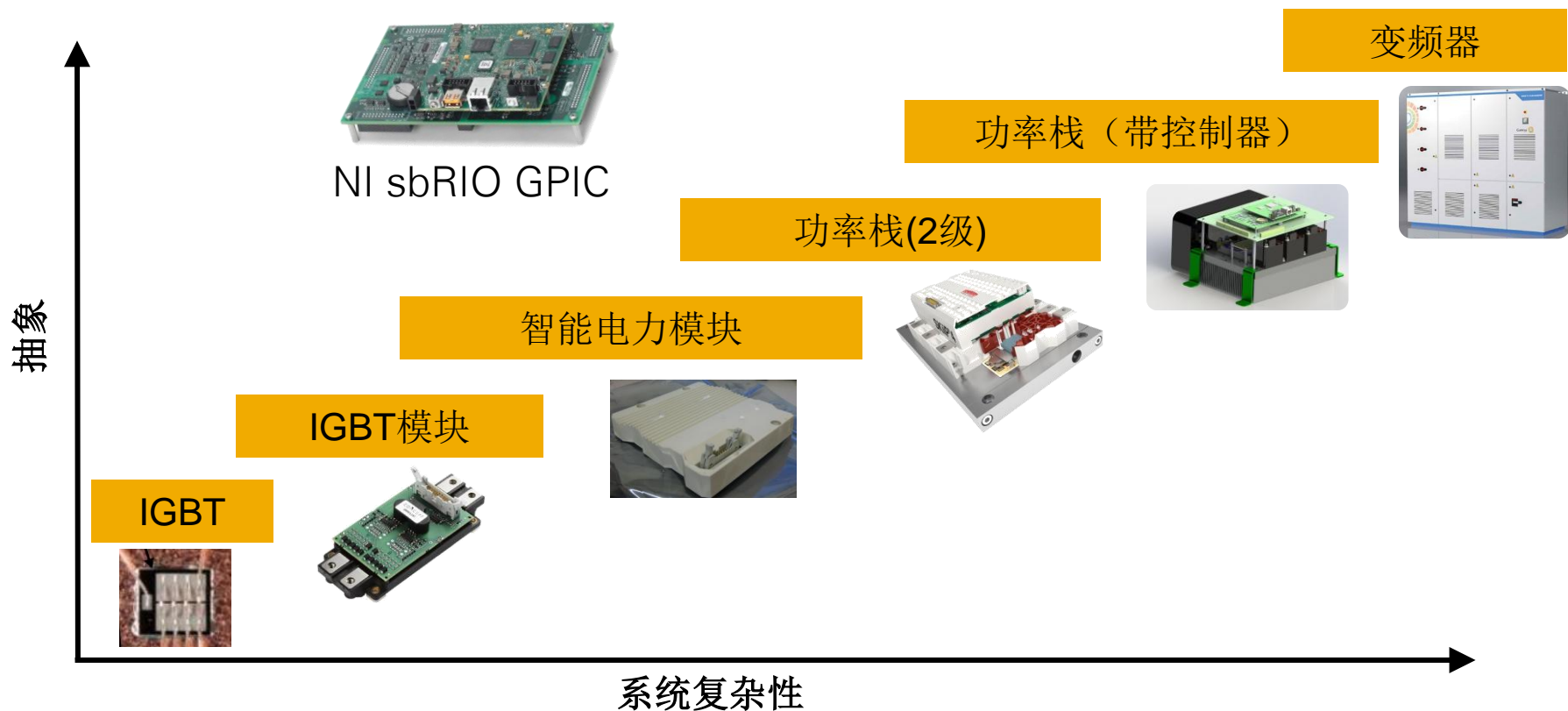




# 更高的硬件抽象级别

## NI 愿景:

- “正如PC之于台式电脑，为数字能源领域构建新标准”
  - (标准架构、模块化结构单元、软件定义、现场可编程)
- “软件就是变频器。”



# SmartPower Stack™ Consortium

Group 通过基于FPGA的集成式可直接部署控制系统开发了行业第一个功率栈，用于大容量并网电能转换器和电机/发电机驱动 ([新闻发布](#))

SmartPower Stack Components

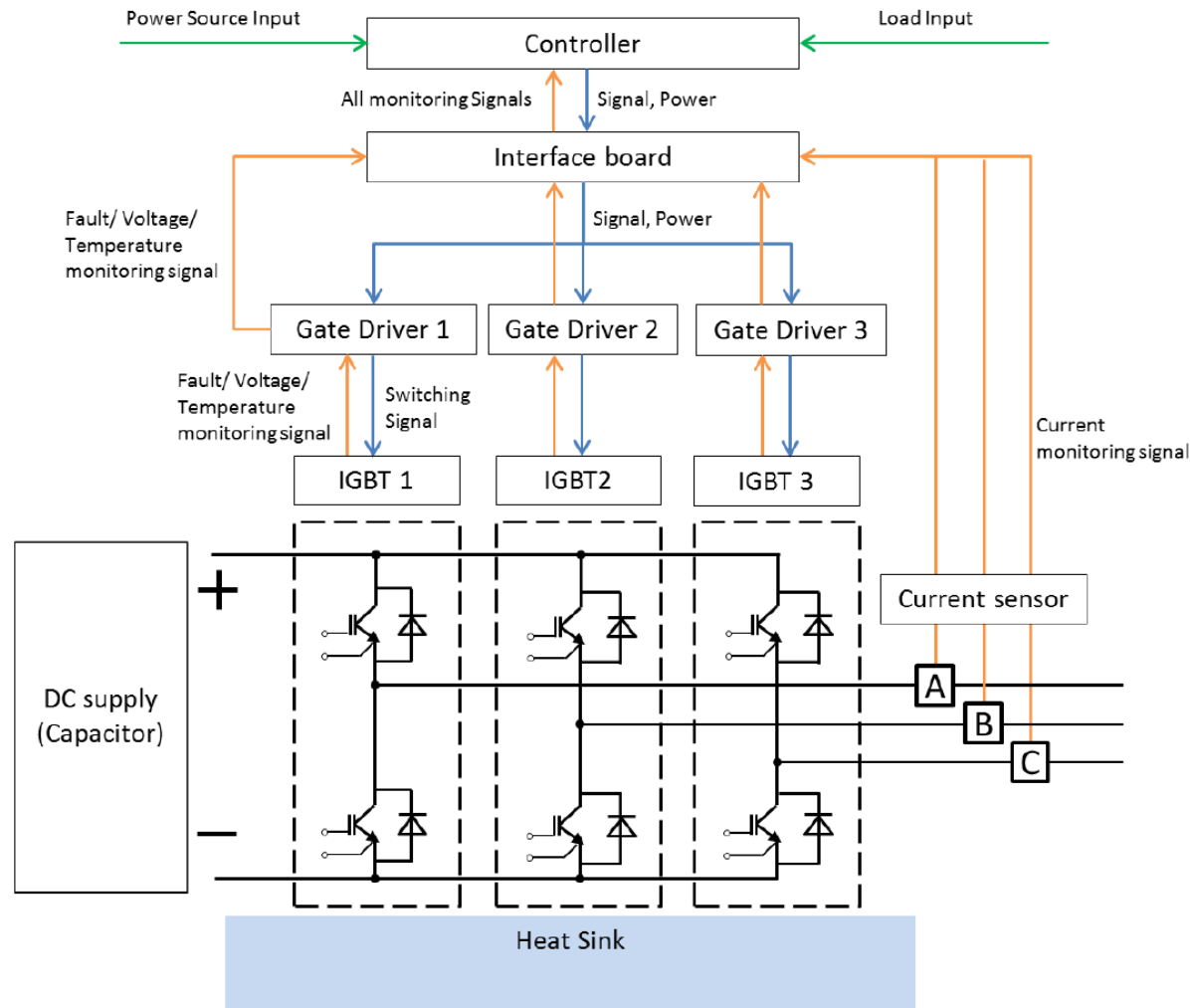
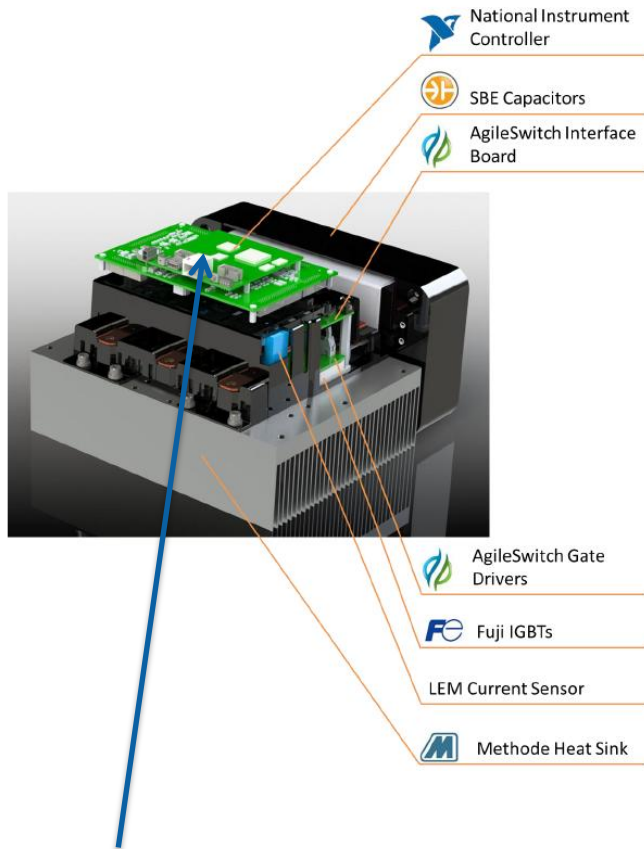
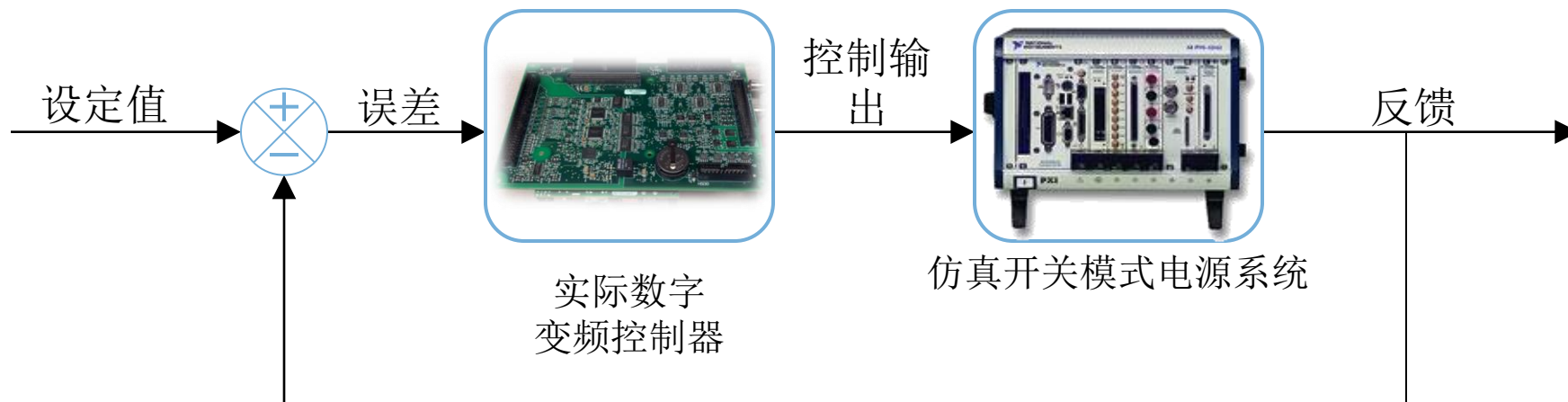


Fig. 1 SmartPower Stack Topology

注意：大部分客户希望能够远程安装而不是本地安装GPIC。

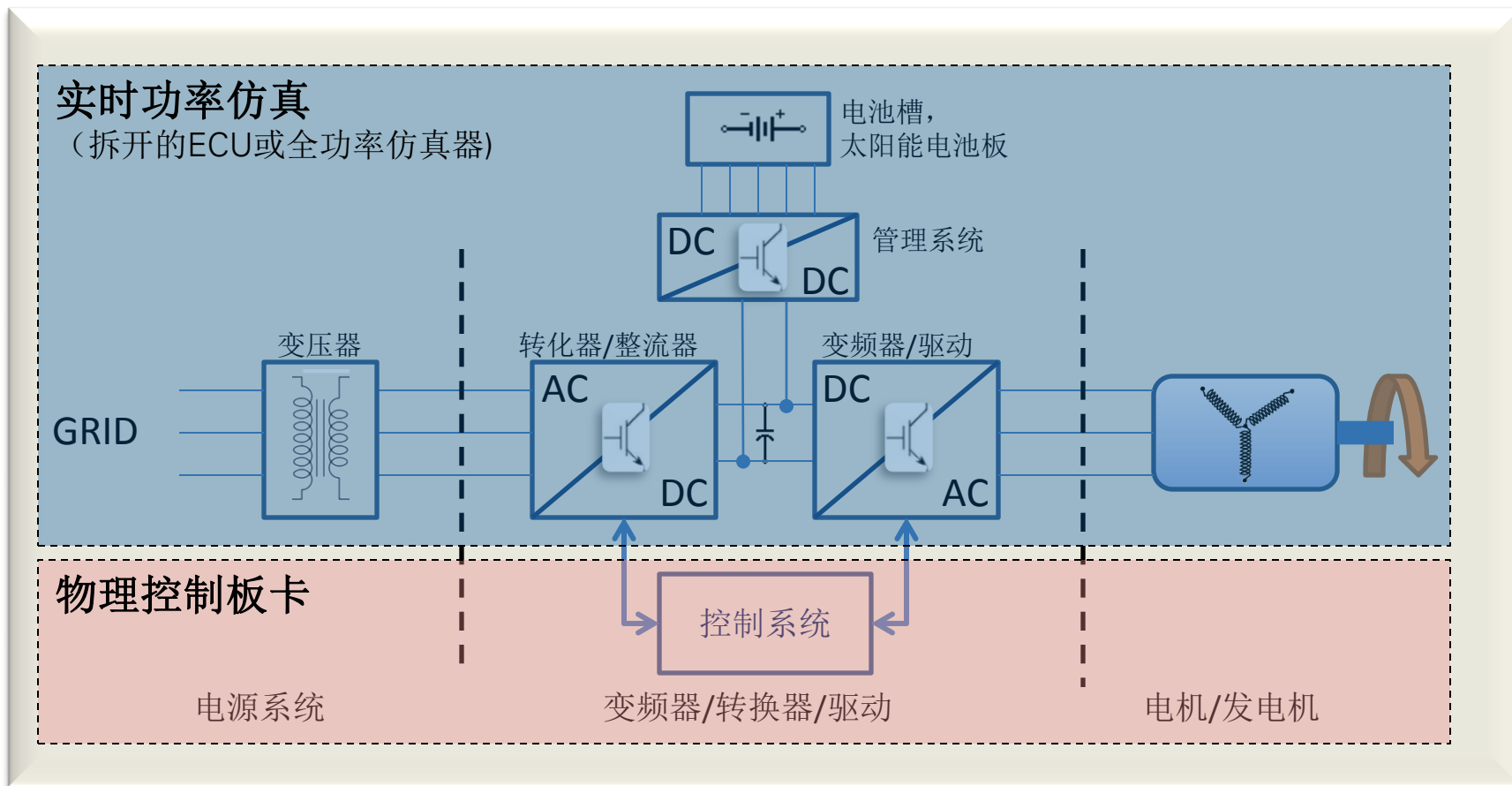
# 电力电子硬件在环(HIL) 仿真



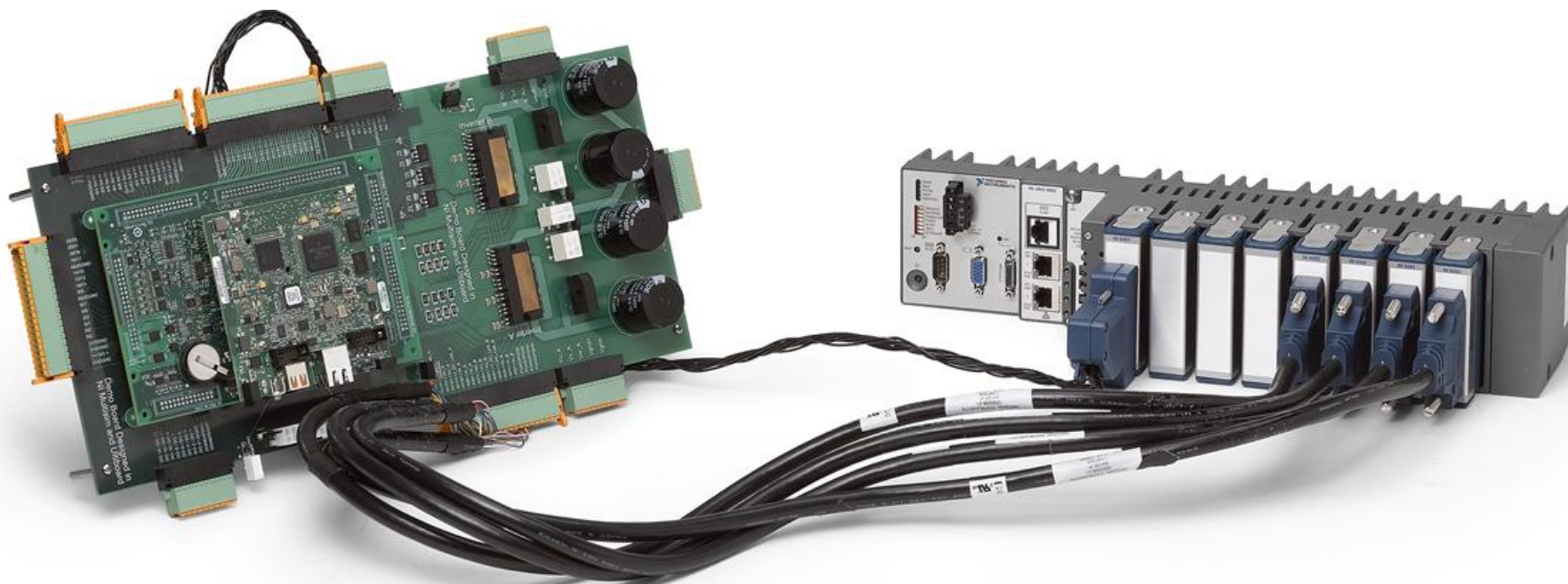
电子电力仿真成功关键:

- 高保真模型
  - 非线性
  - 时变
- 亚微秒定时
- 高速I/O （1-10倍循环速率）

# 什么是电子电力HIL测试系统？



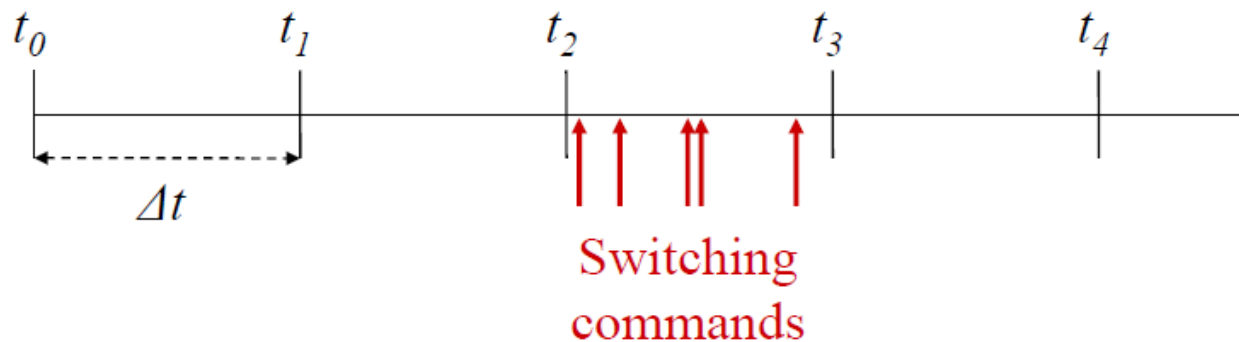
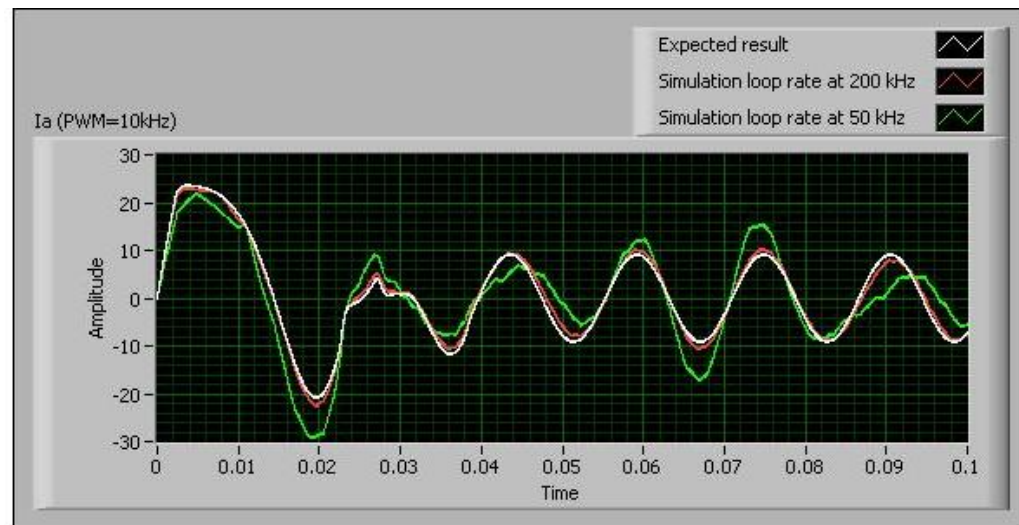
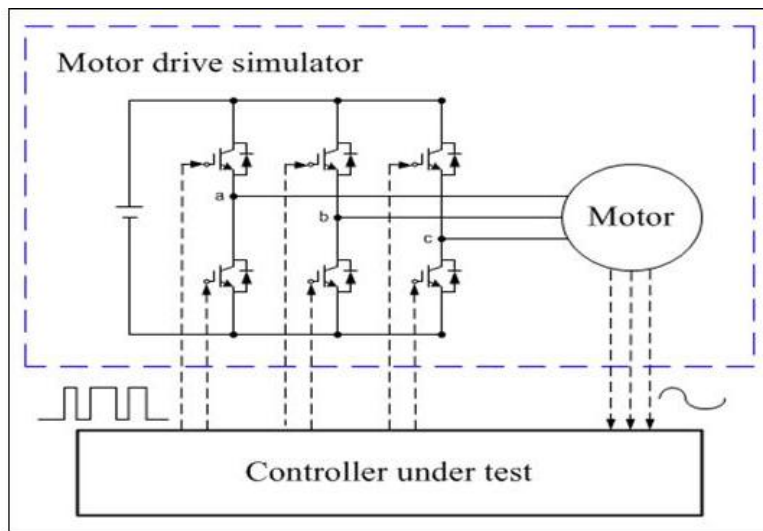
# NI电力电子RCP & HIL系统



- Design and validate power converter control systems with RCP and HIL simulation techniques
- Safely prototype FPGA-based control systems at a miniscale level with the GPIC inverter board
- Create MHz-speed real-time power electronics simulations for control validation and verification
- Test control code using desktop co-simulation, physical prototyping, and real-time HIL simulation
- Reuse LabVIEW code for high-volume commercial deployment using the NI GPIC

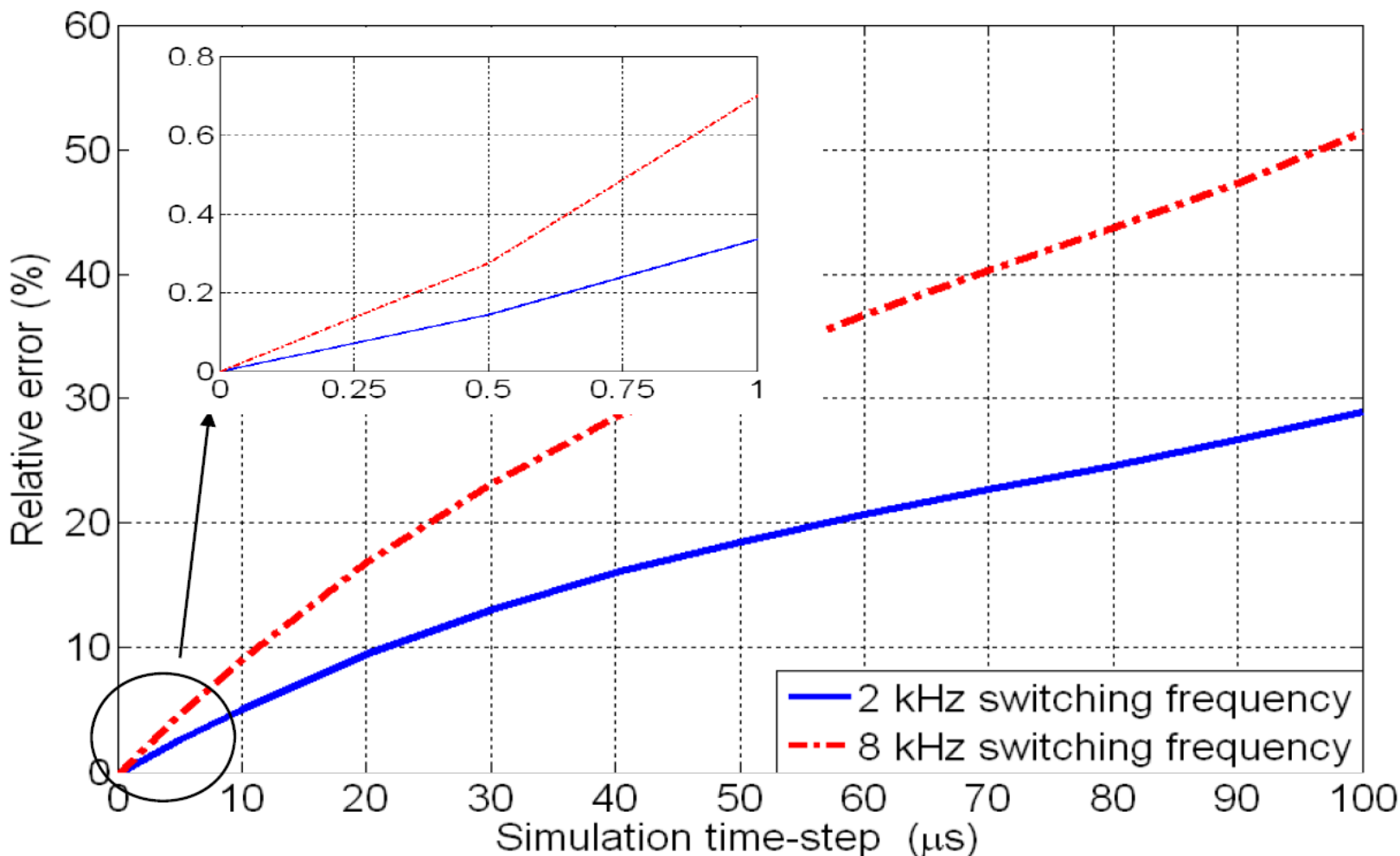
[\[+\] Enlarge Picture](#)

# 仿真开关模式电源系统时，最关键的是速度！

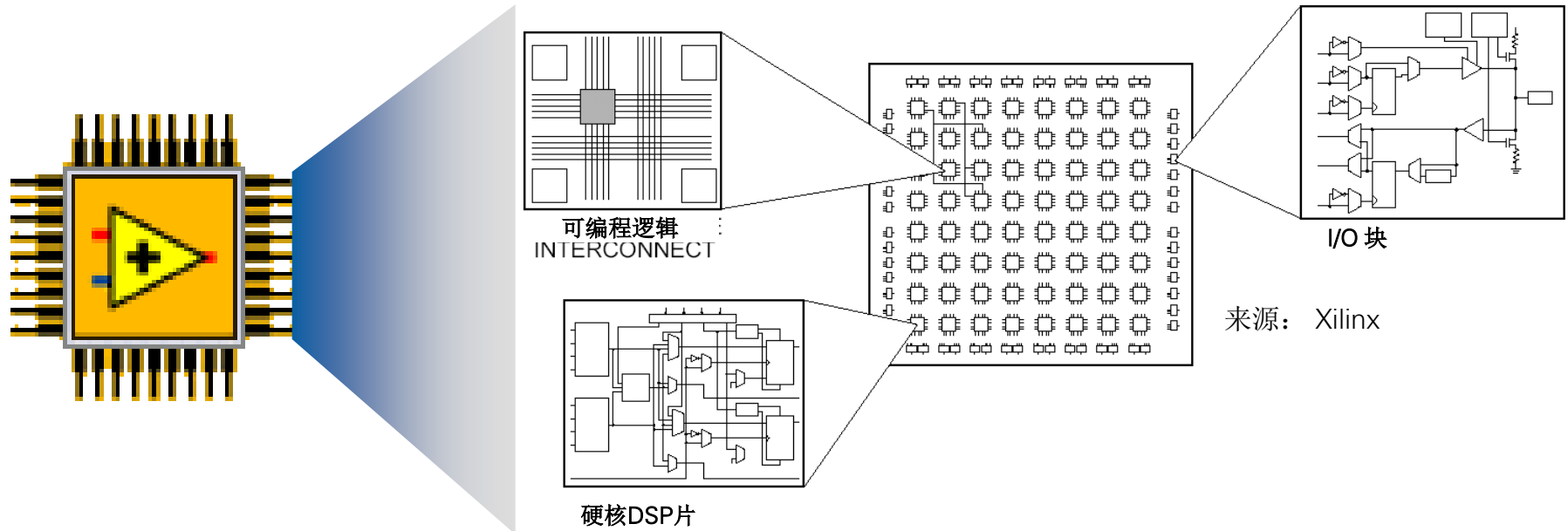




对于2%的误差，仿真时步应该比PWM开关频率快100倍

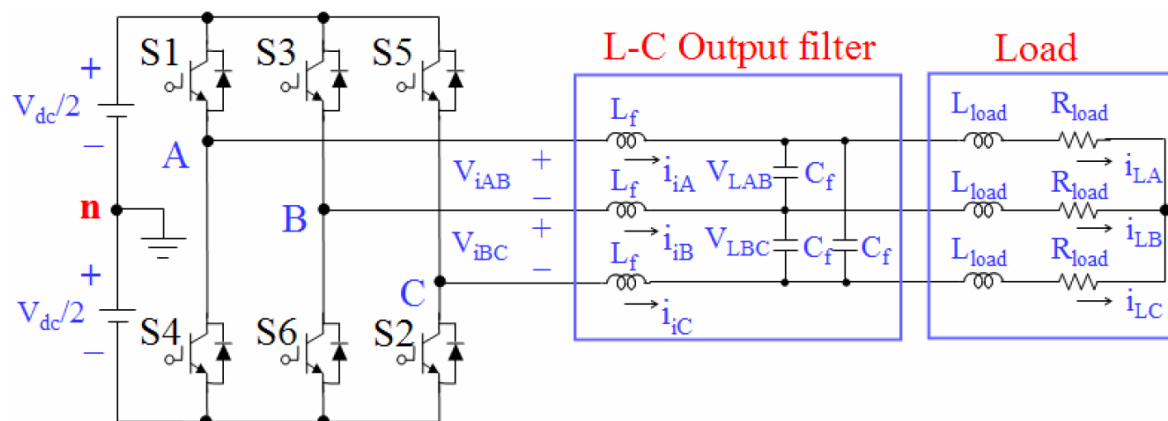


# 混合DSP-FPGA



## 现代现场可编程门阵列 (FPGA)

# 基于FPGA的开源实时HIL仿真器



## 系统参数

IGBTs: SEMIKRON SKM 50 GB 123D, 600 V, 80 A

直流链电压:  $V_{dc} = 400$  V

基频 = 60 Hz

PWM (载波) 频率 = 3 KHz

输出滤波器:  $L_f = 800 \mu\text{H}$   $C_f = 500 \mu\text{F}$

负载: 左负载 = 2 mH 右负载 = 5  $\Omega$

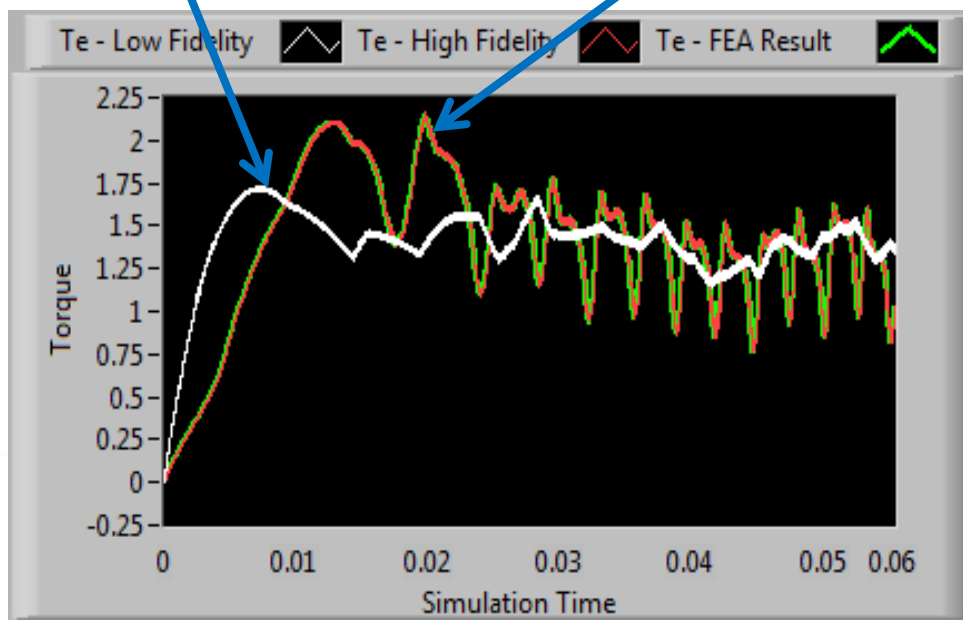
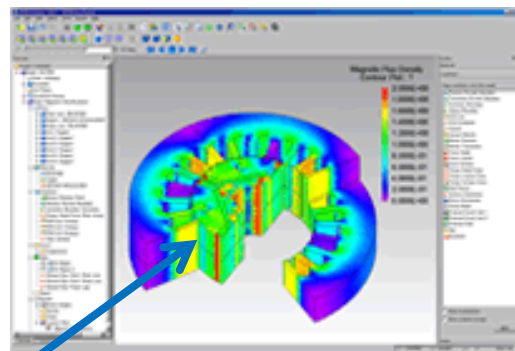
**3.57 MHz (0.28  $\mu\text{s}$ ) 仿真循环率**  
**> 3000倍加速度 vs. 处理器**

# 基于JMAG 有限元分析(FEA) 的FPGA 实时仿真器

PMSM 正弦通量模型\*  
(DQ 参考帧)

$$\begin{aligned}V_{svd} &= P * \omega_m * L_q * I_q \\V_{svq} &= P * \omega_m * (L_d * I_d * \lambda) \\T_e &= \frac{3}{2} * P * (I_q * (I_d * L_d + \lambda) - I_d * (I_q * L_q))\end{aligned}$$

JMAG FEA 模型



低保真度  
模型假定:

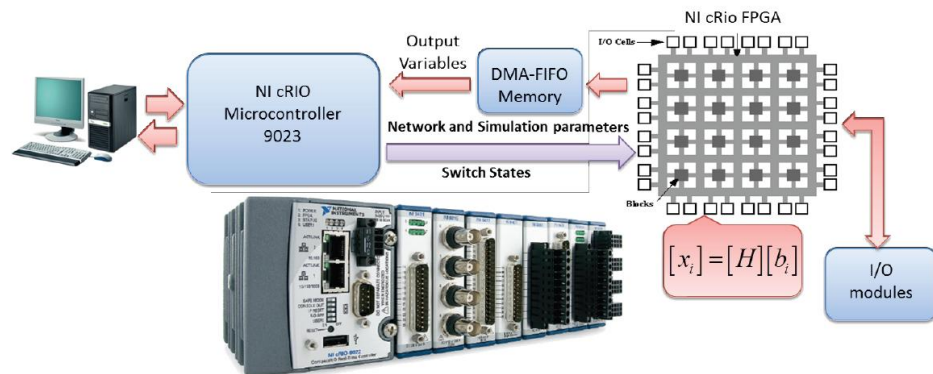
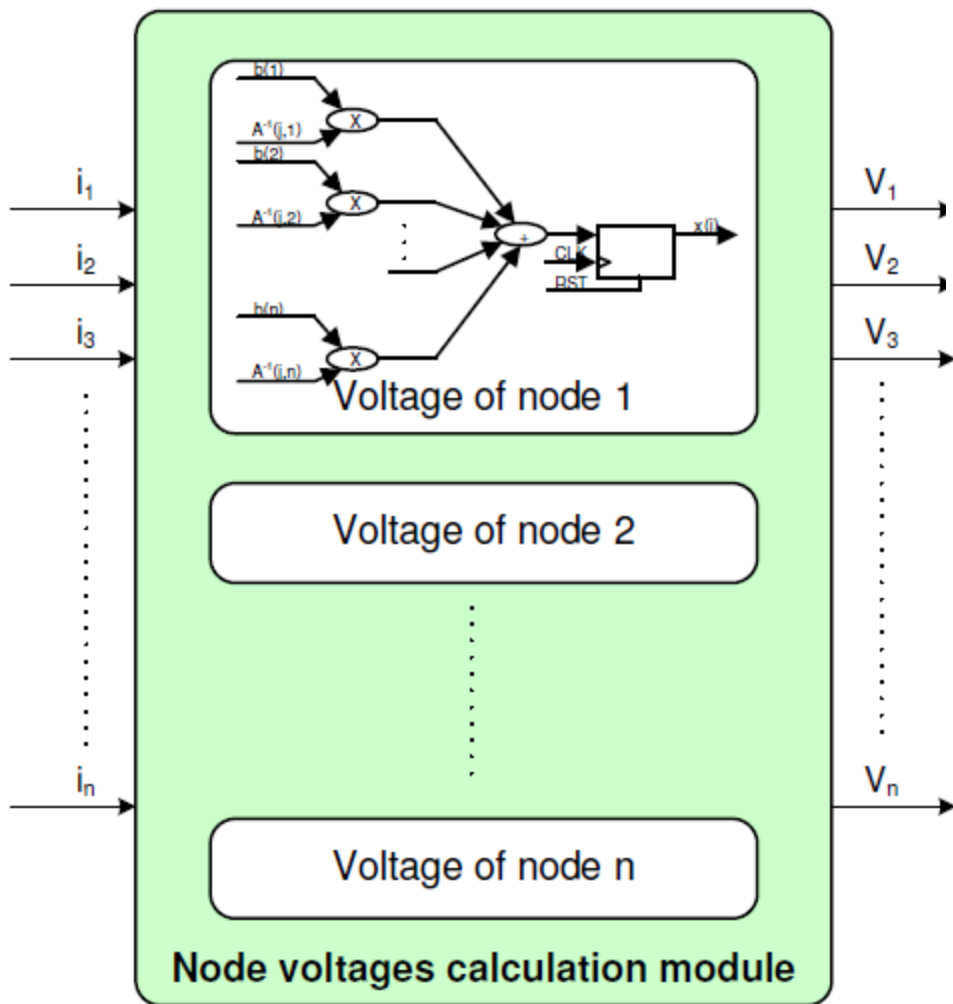
- 气隙均匀
  - 无槽谐波
  - 无定子饱和
  - 正弦分布绕组
  - 非零相序
- (系统处于平衡状态)

高保真度  
模型假定:

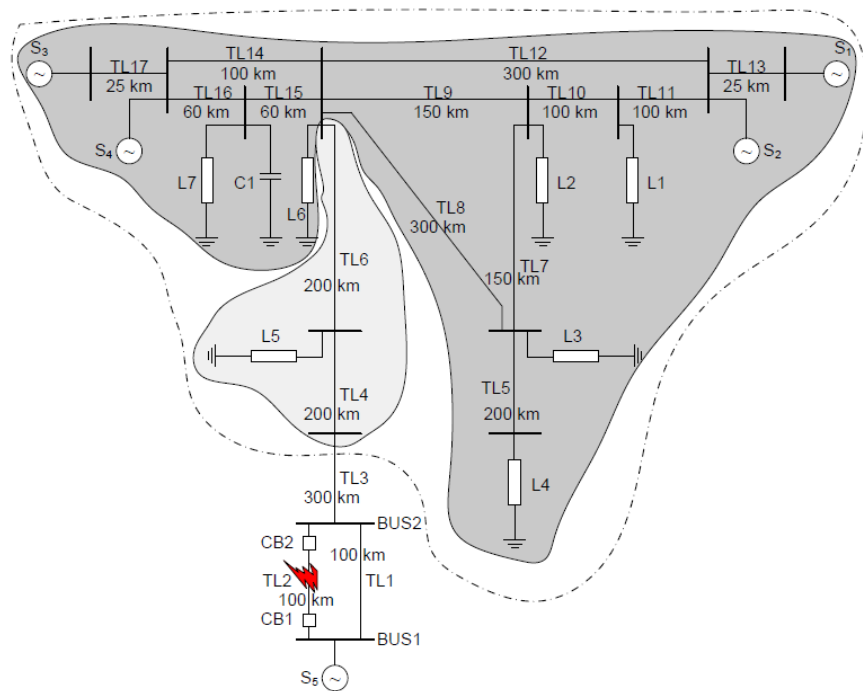
- 复几何
- 磁性材料
- 永磁体
- 非线性电感
- 饱和效应
- 线圈绕组
- 铜铁损耗\*
- 效率\*

\*后处理

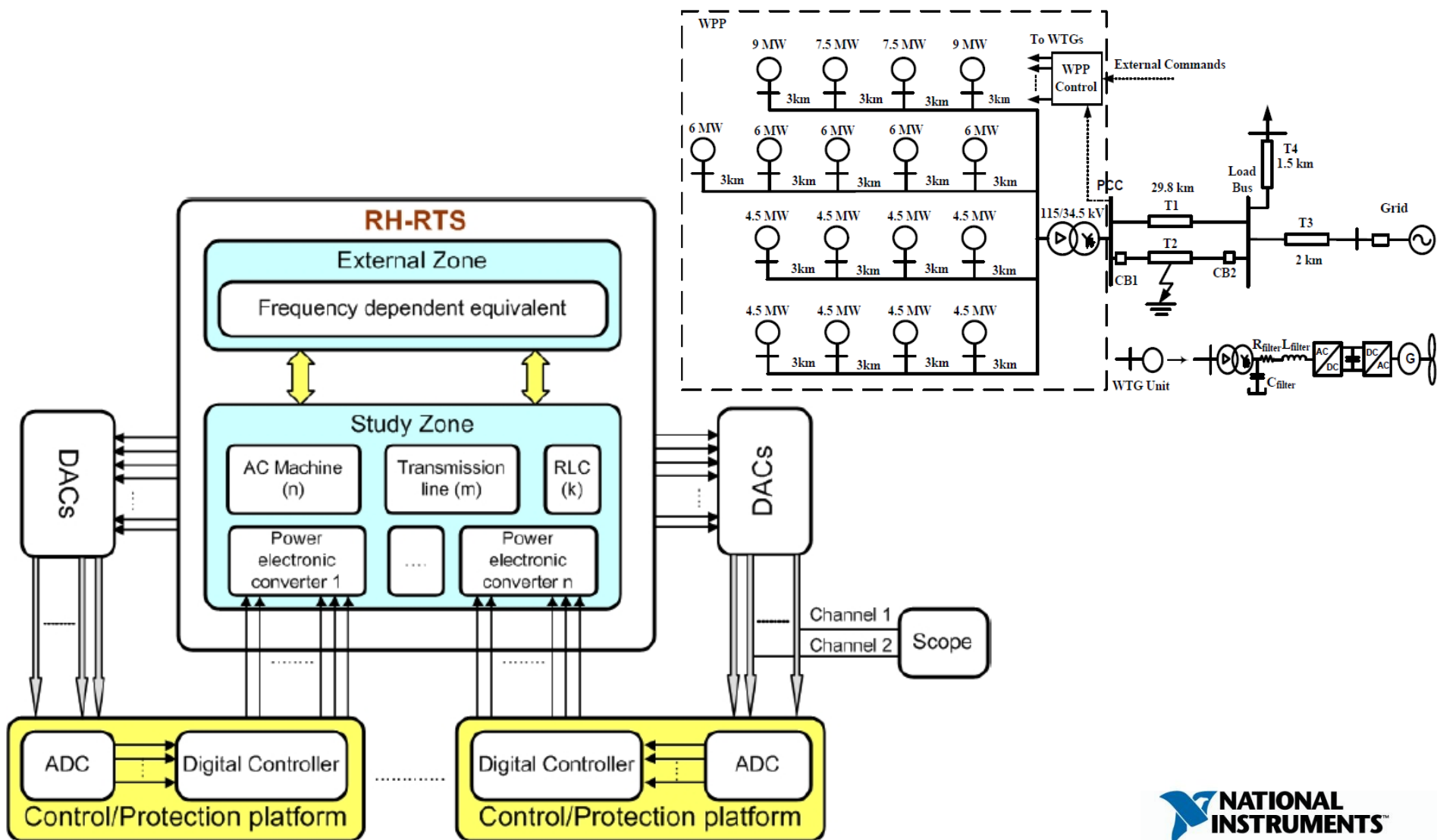
# 基于改进型节点分析的 FPGA实时仿真器



FPGA-based real-time simulator architecture



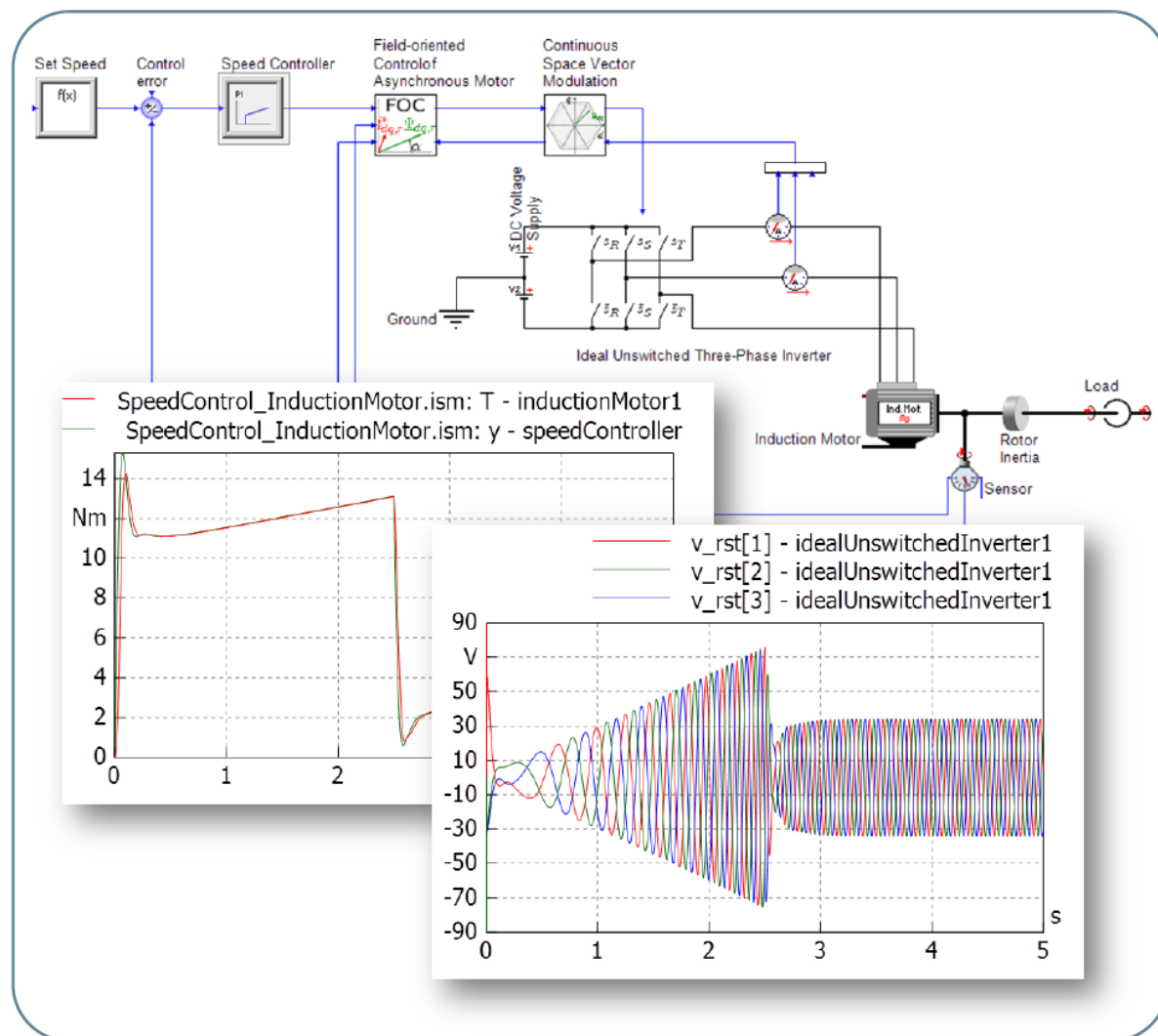
# 基于改进型节点分析的 FPGA实时仿真器





# 基于Modelica的 FPGA实时仿真器

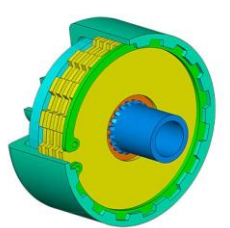
**SimulationX<sup>®</sup>**  
Powered by ITI



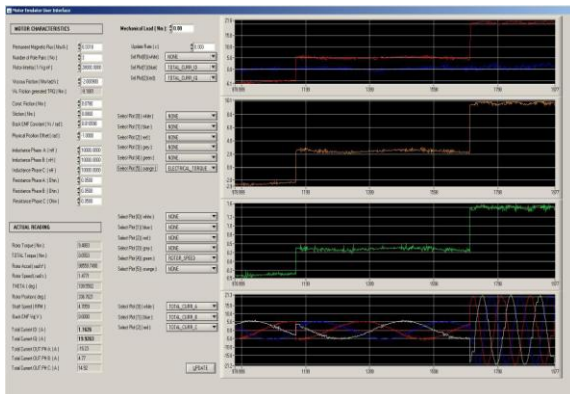
# SET 电动机仿真器(EME)

相位仿真

电机模型



传感器  
仿真



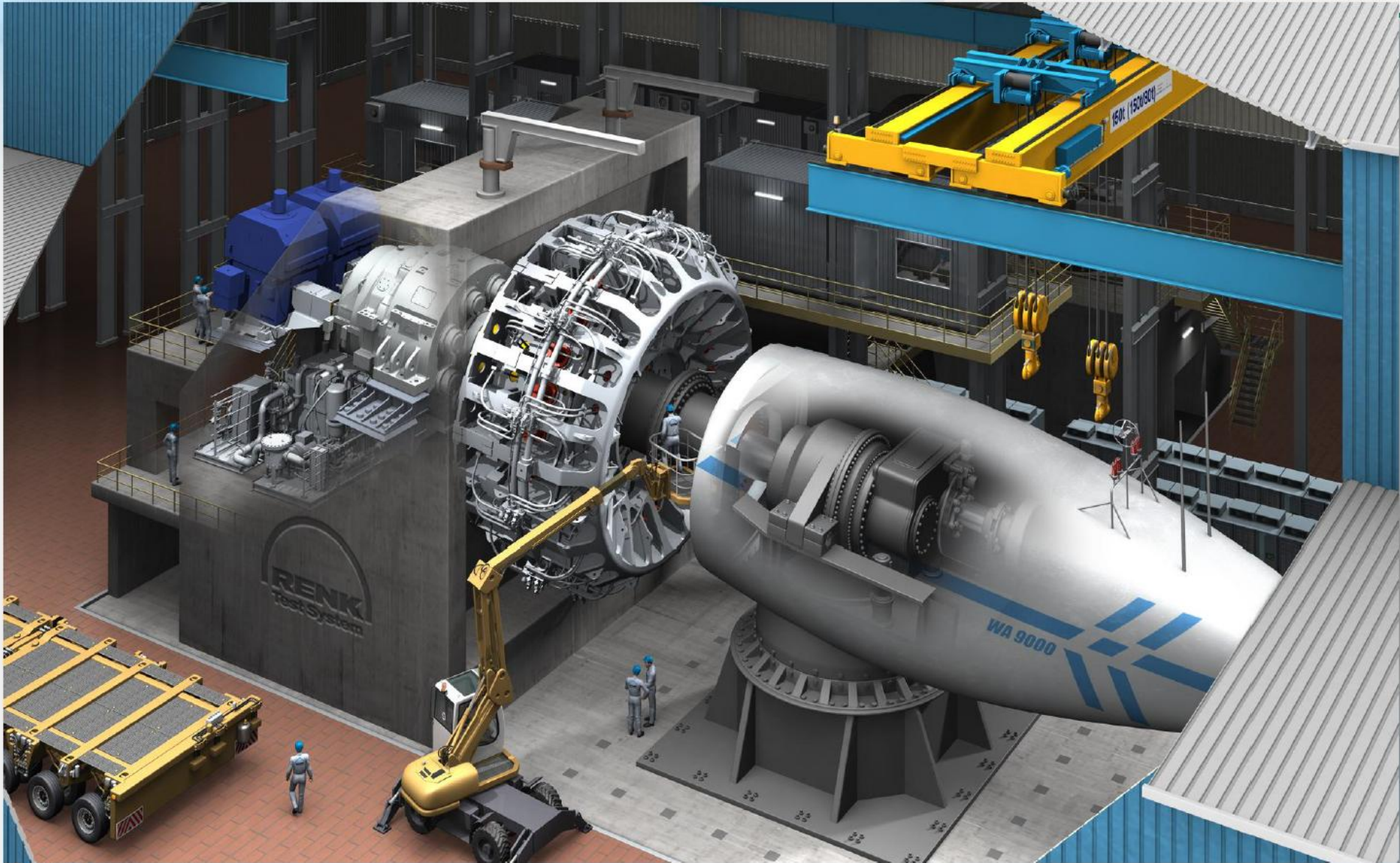
Interface

变频器

功率输出

传感器  
接口

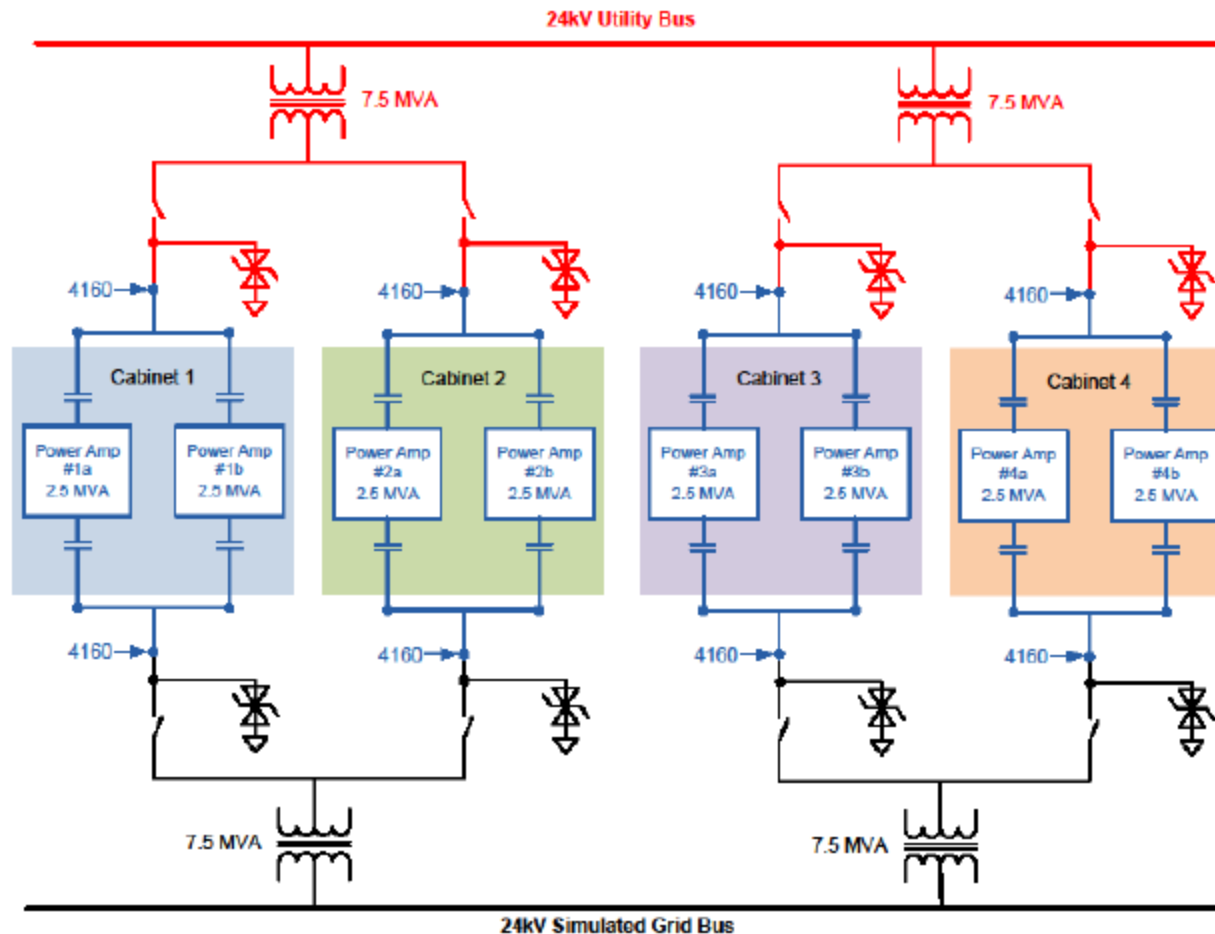
# 15 MW with Dynamic Load Applicator





# HIL Grid Simulator Topology 15 MVA Rating with 20MVA Capacity

## 4160V Grid and 4160V Load Configured



# 绿色能源补贴计划更新

- 2010年以来40多家公司获得补贴
- 2012年以来18 家公司获得补贴
  - 用于风力涡轮机的转换器-变频器
  - 混合能源电池技术
  - 功率电机和模块化变频控制器
  - 自动生物能源供热系统控制器
  - 电动汽车电子和传动技术
  - 用于提升风能和太阳能效率的PID控制
  - 用于集成式太阳能存储的数据采集控制系统
  - 飞轮动能存储平台



# 绿色能源补贴计划更新

- 2013：绿色能源补贴计划第四年
- 新访问页面外观： [/green-engineering-grant](#)

## NI Green Engineering Grant Program

The National Instruments Green Engineering Grant Program is designed to provide start-up assistance for companies or research organizations planning to use National Instruments hardware as a component of their clean energy, energy efficiency, or smart grid system. Eligible parties are granted up to \$25,000 USD in software and training.

### Frequently Asked Questions



Get answers to some of the most common questions regarding the NI Green Engineering Grant Program.

[Read the FAQs](#)

### Download the Application



Download the grant application and submit it to the green engineering grant committee. Applications are evaluated monthly and require an NI sponsor.

[Download the application](#)

### Past Award Grantees



Green applications range from biofuel production to grid management systems.

[Learn about past award grantee technologies](#)

### Additional Resources

[Why Use NI LabVIEW for Embedded Monitoring and Control?](#)

[Explore the NI Embedded Design Platform](#)

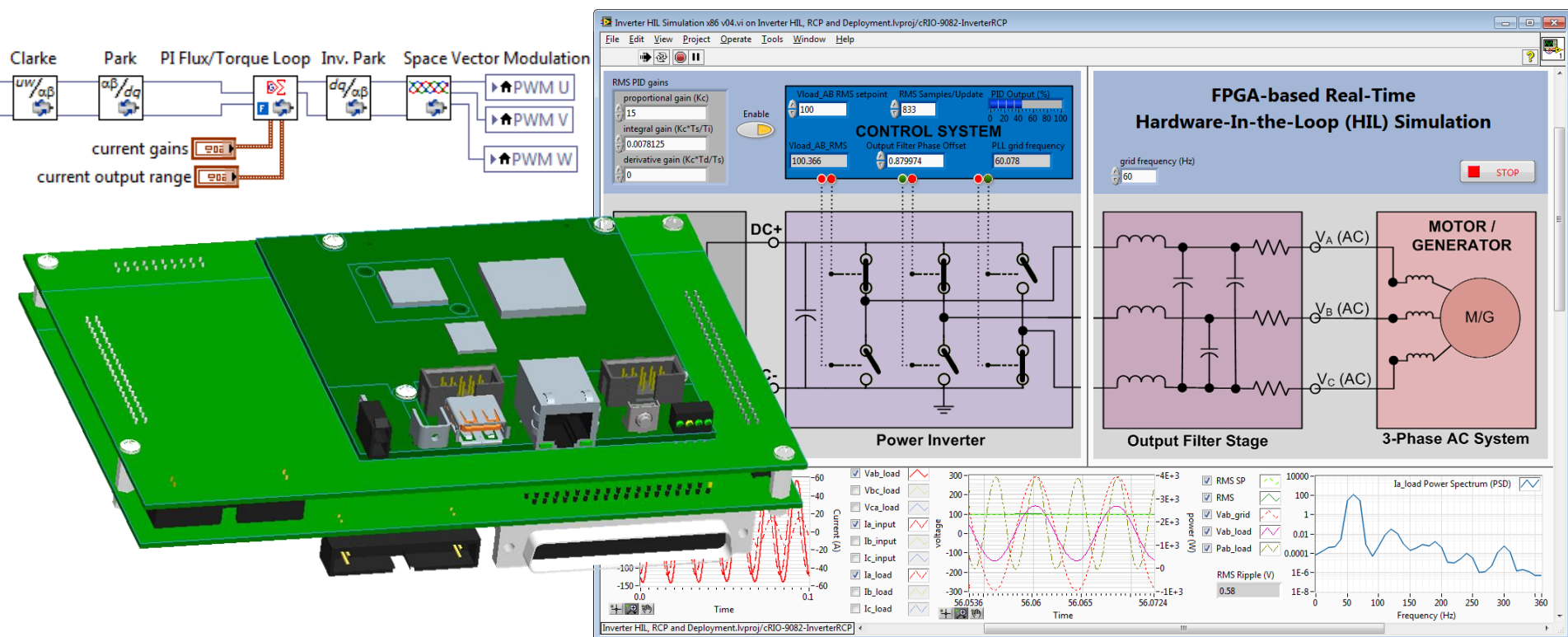
[Explore Control and Monitoring for Renewables and Electrical Power](#)





# THE ***DIGITAL ENERGY REVOLUTION***

See how graphical system design  
changes how we manipulate,  
move, and store energy.



下一步

访问[NI.COM/POWERDEV](https://NI.COM/POWERDEV)，加入开发者社区

了解NI 电力行业解决方案，请访问：[china.ni.com/energypower](https://china.ni.com/energypower)