インバータからX-in-1まで。FPGAコンパイルを排除した最新HILS



シーバー 健

APAC Chief Business Manager

マルチモータトレンド

Toyota

RAV4 E-Four Hybrid combines its Atkinson cycle 4-cylinder petrol engine works in tandem with two electric motors.


Source: Tesla

Lucid

Lucid Air Dream Edition's quad-motor powertrain can churn out 1,111 hp for a top speed of 168 mph.



Source: Auto

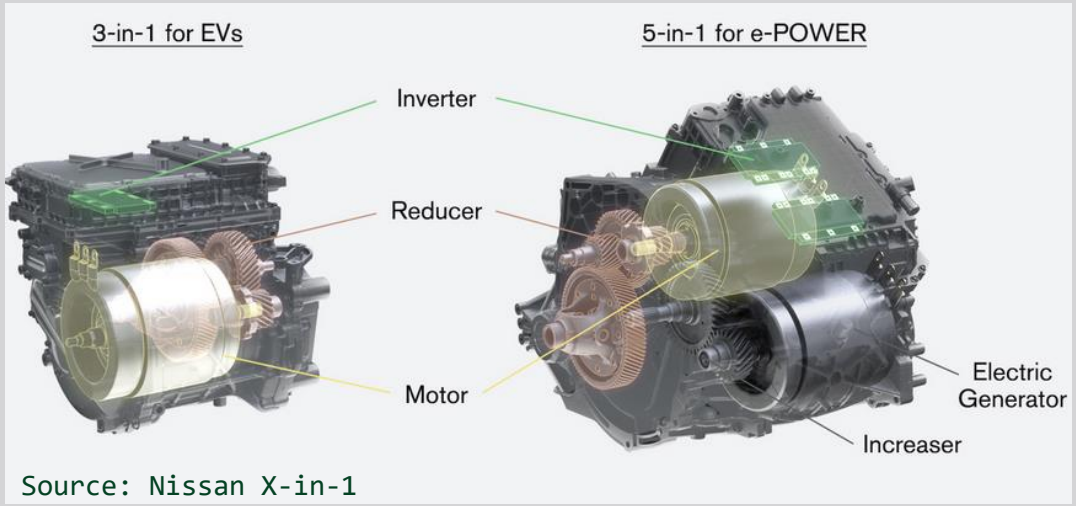
Tesla

Model S Plaid maintains 1,000 HP all the way to 200 mph with Tri-motor all-Wheel Drive


Source: Lucid Motor

EVパワートレインコンポーネントの集約

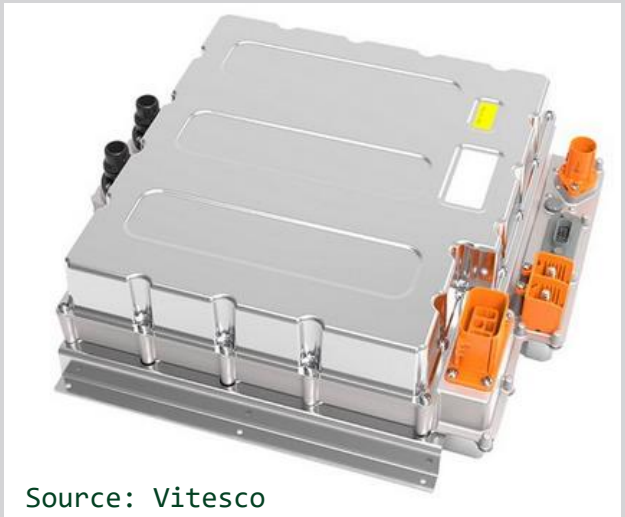
Nissan X-in-1



Source: Nissan X-in-1

The modularization of the X-in-1 will result in improved performance, smaller size, and better vibration control through integration

Vitesco Onebox



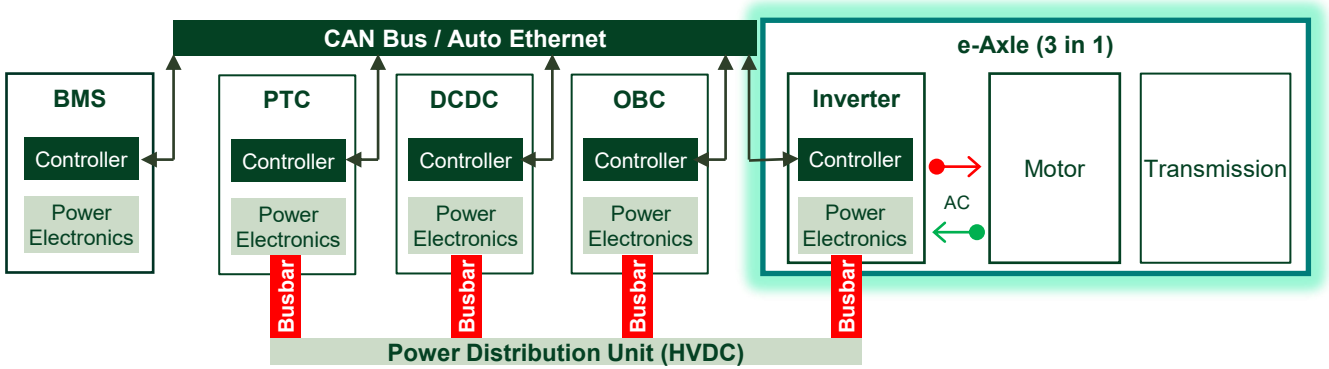
Source: Vitesco

Renault and Vitesco announced the joint development of One Box – integrated DCDC, OBC, and Inverter

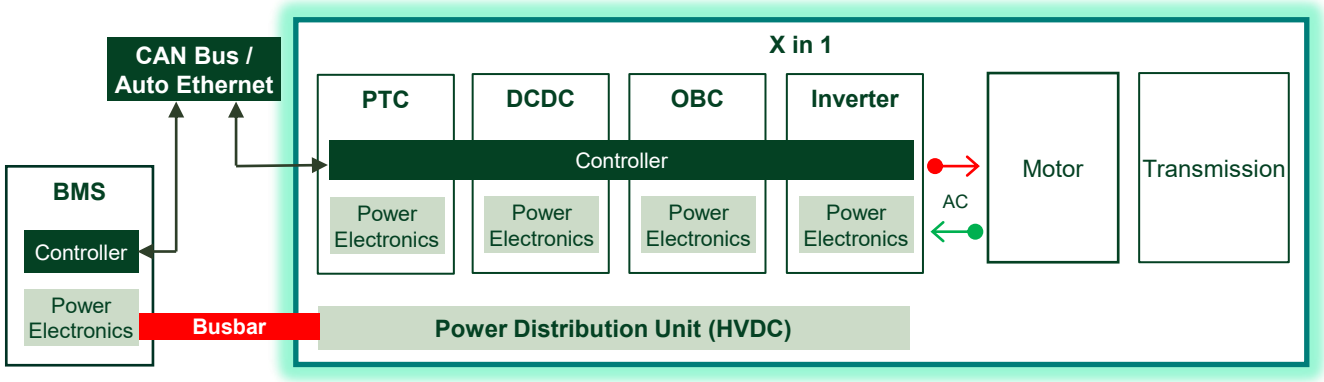
- モータ・インバータHIL は周りのOBC や DCDC などを同時にエミュレーションする必要があるケースが存在する。ゲート信号などは3ns前後でキャプチャーしないと検出周波数にズレがでて出力に大きく影響する
- 追加のプラントモデルを取り込むプラットフォームが必要

NI CONFIDENTIAL

X-in-1 – Next-Generation xEV Powertrain



Distributed 3-in-1 plus Controllers with PEs
To
Integrated X-in-1



Market Requirements

Smaller Size
Light Weight
Lower Cost
Higher Efficiency

X-in-1 Benefits

Integration of power electronics and ECUs
Reduction of HV harnesses and connectors
Reduction of components and VCOM
Integrated WBG PE for higher performance

Test Implications

PE emulation for an integrated system
More IO channels for an integrated system
Increased Test Coverage for SW integration
High-frequency emulation for SiC and GaN

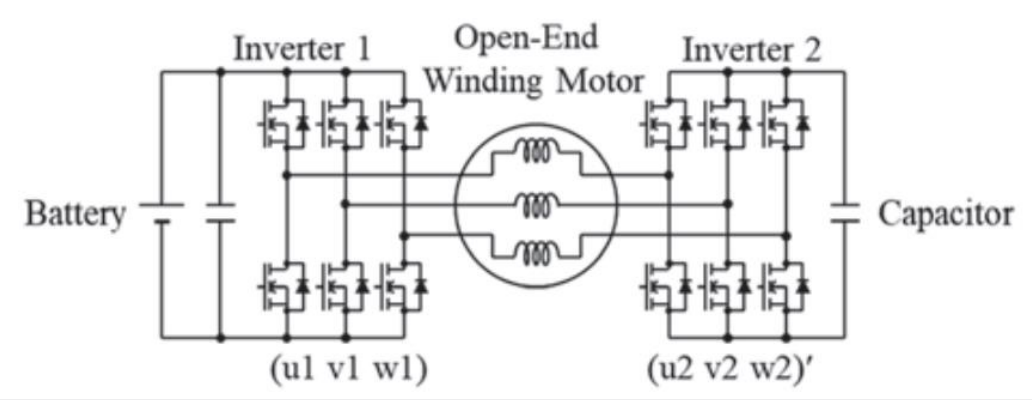
Benefits of NI

Scale and Leverage PE emulation options
Select and Update IO from Unrivaled Portfolio
Automate Tests with Ready-to-Run HIL SW
Maximize FPGA's Computational Performance

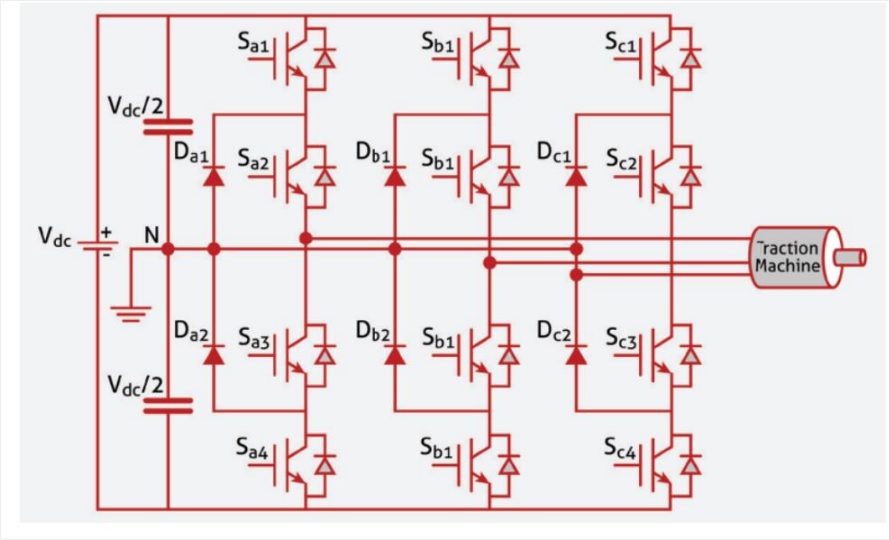
INTERNAL - NI CONFIDENTIAL

回路アーキテクチャの進化

オープン巻き線、Dual インバータ



マルチレベルインバータ

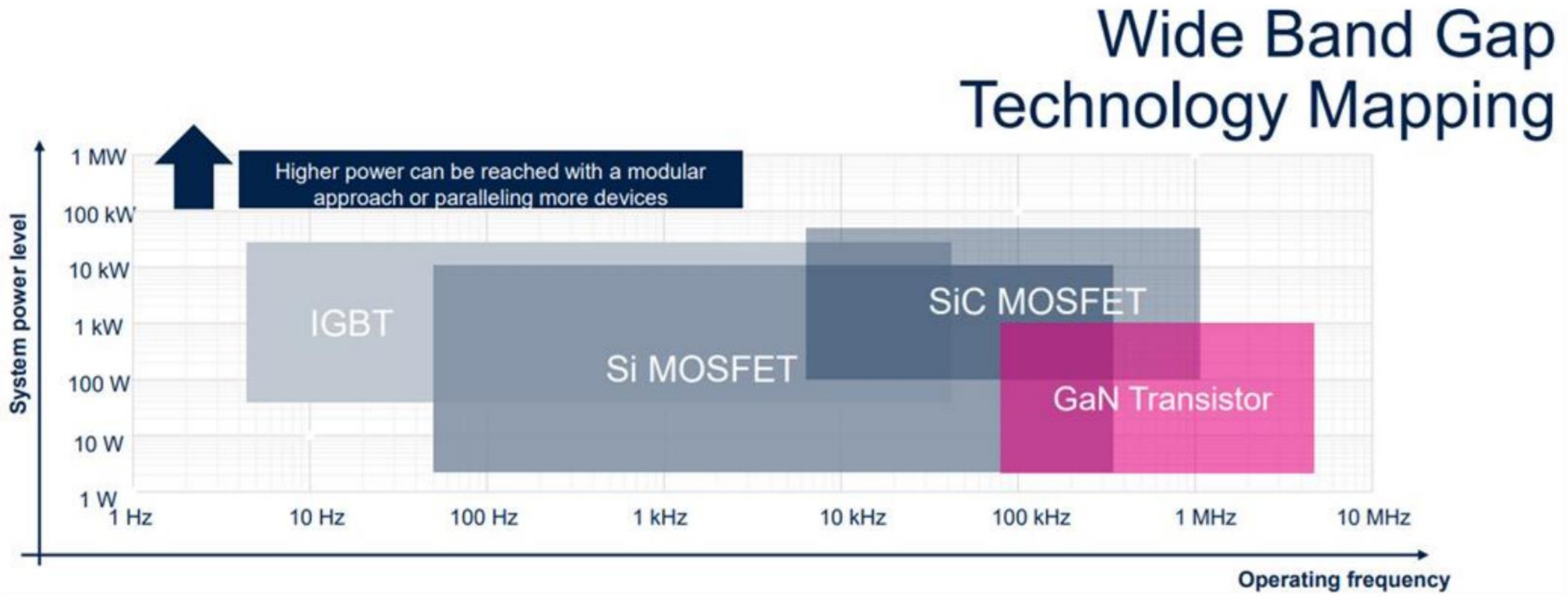


https://www.denso.com/jp/ja/-/media/global/business/innovation/review/27/paper-05.pdf?la=ja-jp&rev=220a232907d8473bb63017414b7c713f&hash=2D8B6A63E7367DB78AE33B39F7F2D434

https://chargedevs.com/features/a-closer-look-at-multilevel-traction-inverters/

INTERNAL - NI CONFIDENTIAL

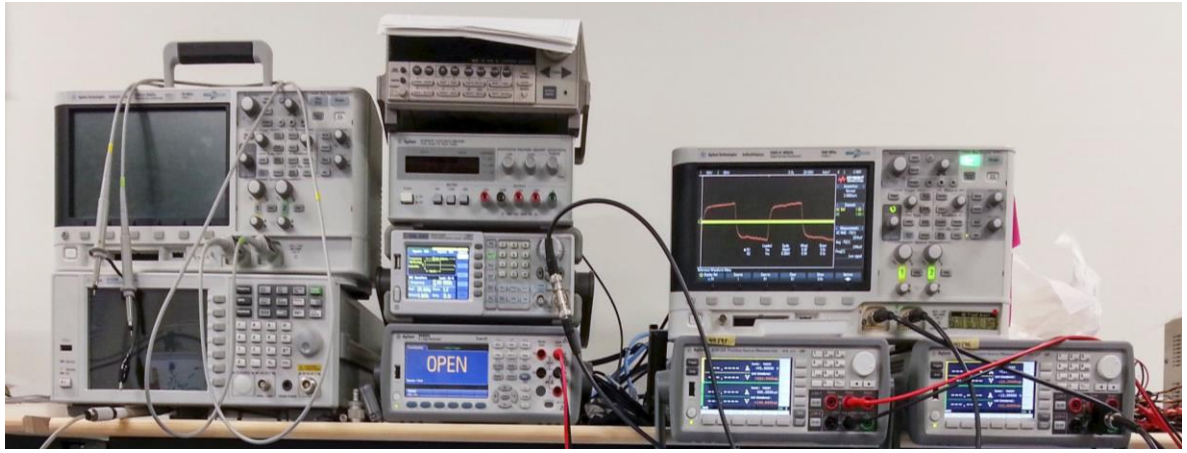
スイッチング周波数と電力の増加で制御が難しくなる



正しく制御し、熱損失を最小限に抑える必要がある

INTERNAL - NI CONFIDENTIAL

ソフトウェアの進化、演算スピード、同期計測の重要性





Traditional Electronic Test Lab

Manual lab and data management

Closed and inflexible test systems

Inconsistent hardware and software across multiple vendors

NI Platform

Faster automation and deeper product insight with software-connected measurement platform and data analysis

Efficient adaptation and customization to new/changing requirements with modular and upgradable hardware

Improved time to market with tightly integrated hardware and software, and responsible introduction of AI

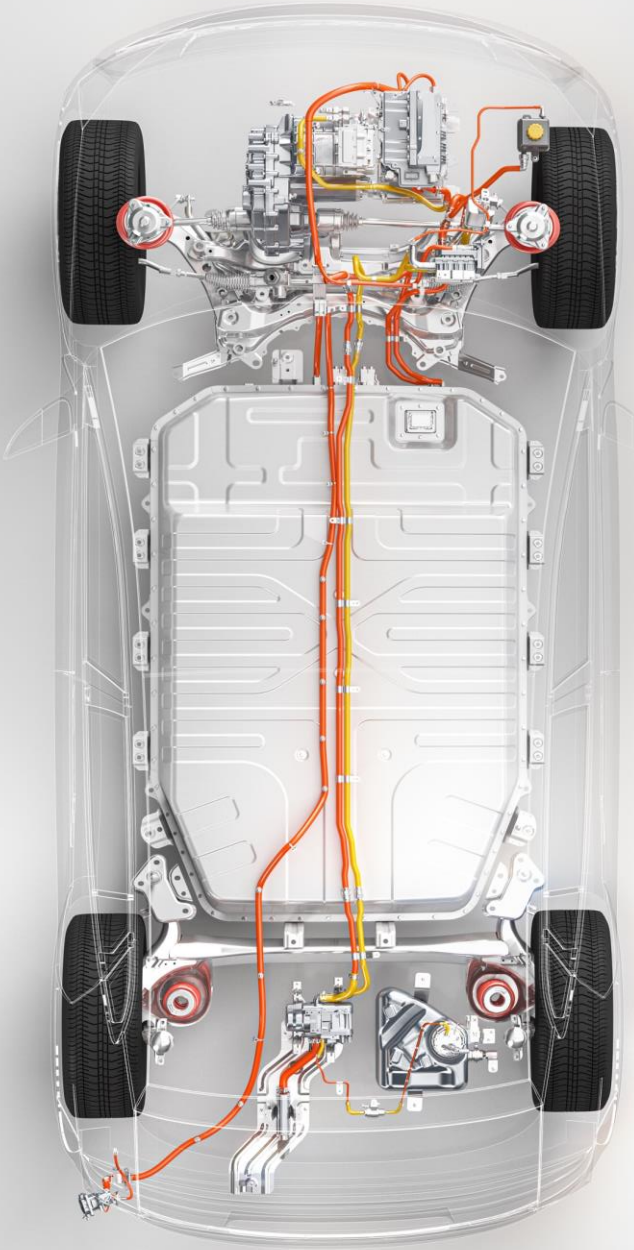
EMERSON | NI

EV HIL特有の課題

従来のダイナモモーターやロードテストでは、完全な自動テストカバレッジを実現するのは不可能に近い

パワーエレクトロニクス・インバータの高速な動的応答は従来のHILテストシステムでは対応できずEV HILには不向き

2%の精度を達成するためには、パワーエレクトロニクスシミュレーションはインバータスイッチング周波数の数十倍以上の速度が必要



共通プラットフォームとテスト仕様をプロセス間で共有

Reduce Development Time and Improve Engineering Efficiency Through Model Reuse

Powertrain and Vehicle Models

Model-in-the-loop
Software-in-the-loop

Signal-Level HIL
sHIL



Power-Level HIL
pHIL



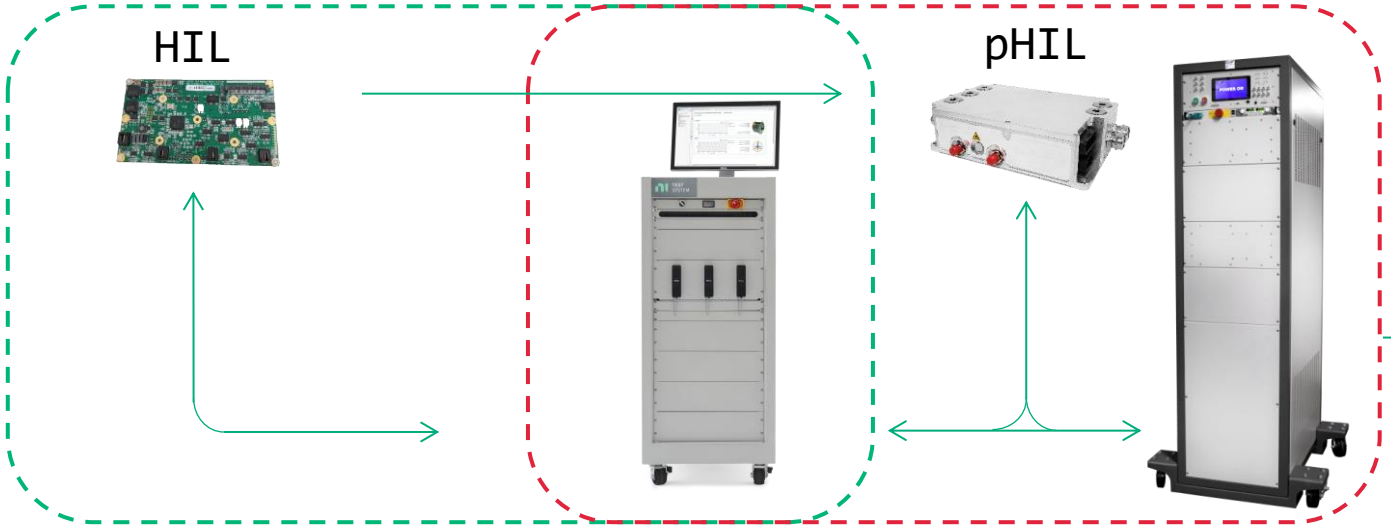
Test Cell – eDyno
Physical Testing



Field
Test

EMERSON

HIL, pHIL, ベンチの役割



ベンチ



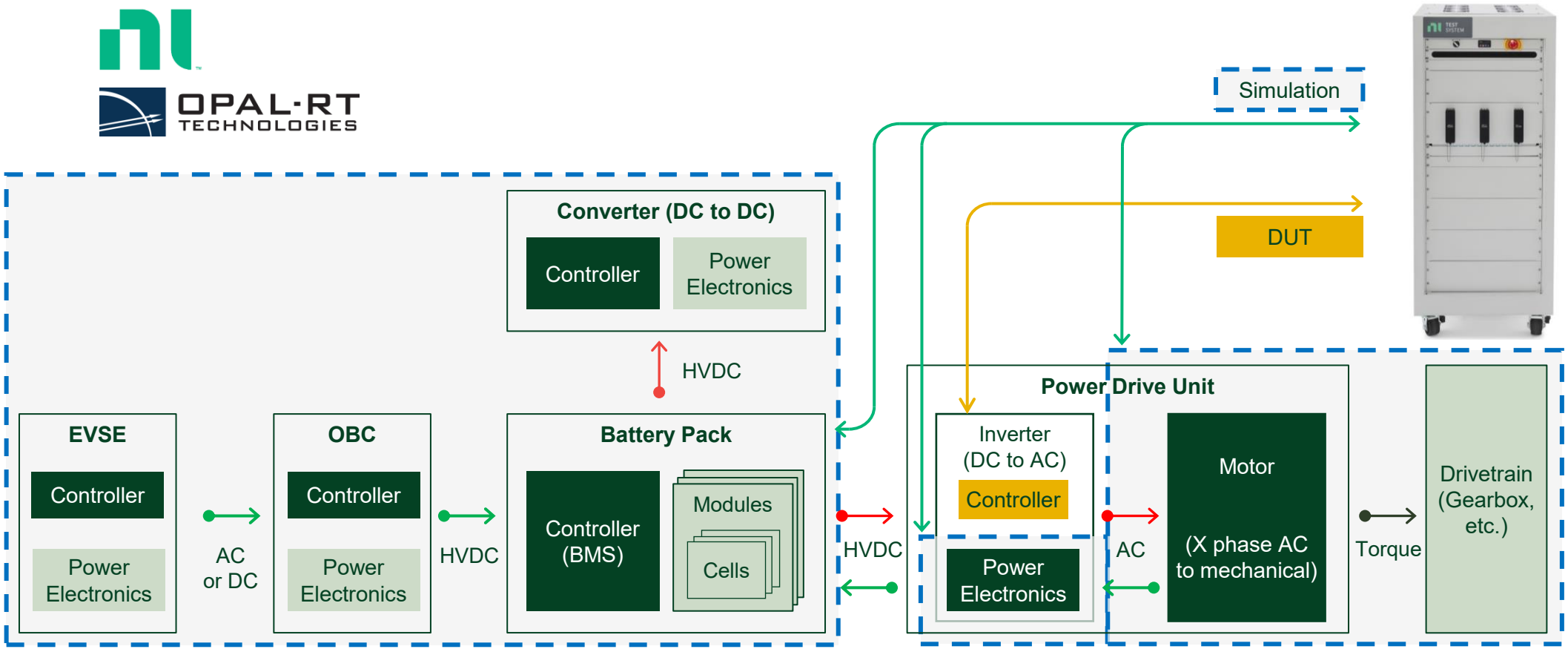
- **DUT**: コントローラ
- **Test**: ソフトウェア
- **How**: EVパワートレインのシミュレーション

- **DUT**: インバータコンポーネント
- **Test**: ソフトウェア、耐久試験　等
- **How**: モータを高電圧・電流で再現

- **DUT**: EV Drive Unit (Motor + Inverter)
- **Test**: Functional + Durability
- **How**: Emulate motor, battery, and road load, re-use HIL set up & test profiles

インバータテストの場合 (sHIL)

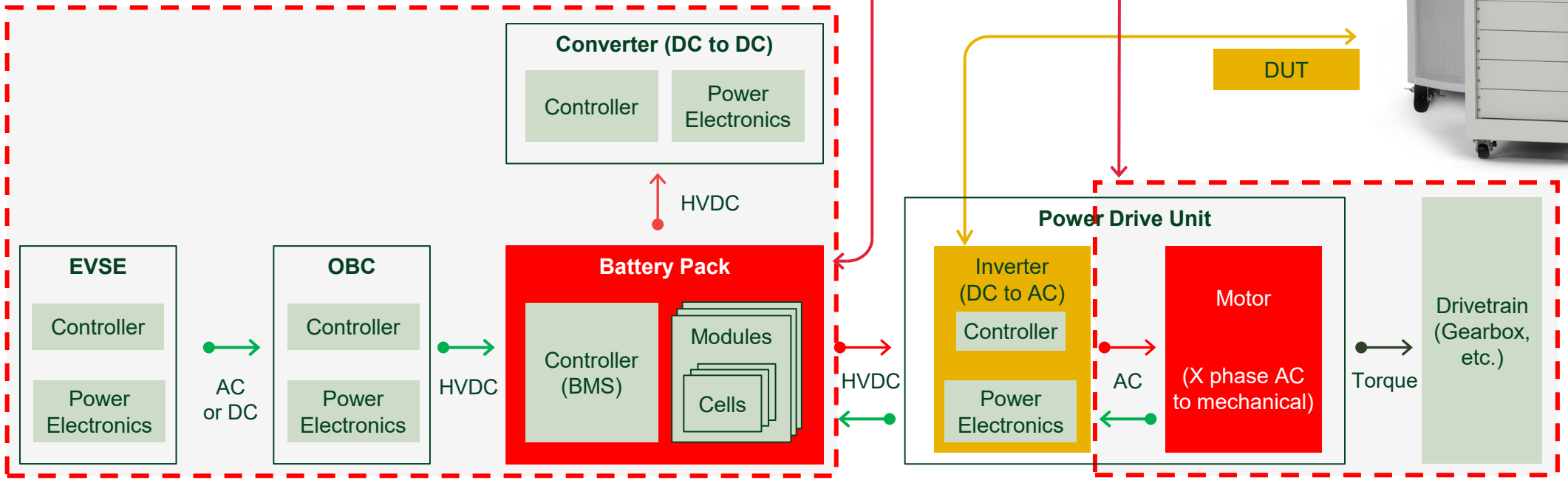
HIL Test – NI PXI + Opal-RT FPGA Simulation



インバータテストの場合 (pHIL)

pHIL Test – NI PXI + Opal-RT FPGA Simulation + D&V EME and DC Emulators





INVERTER VALIDATION OFFERING

NI Inverter HIL X-in-1　４モータ高速実行プラットフォーム

OPAL-RT TECHNOLOGIES

Technology Partner



インバーター・モータHILの全体像

豊富なモータライブラリ

- Permanent Magnet Synchronous Machines (IPM, BLDC, SPM)
- Induction Machines (DFIG, DFIM, SC)
- Switched Reluctance Machines (SRM)

業界トップクラスの実行スピード

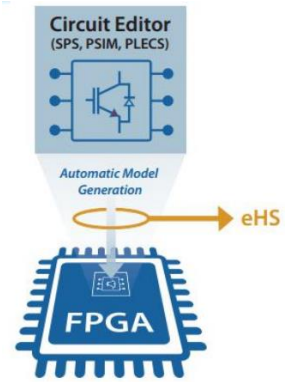
- Down to 100 ns time step
- Up to 144 switches per FPGA – no decoupling
- Up to 400 kHz switching frequency

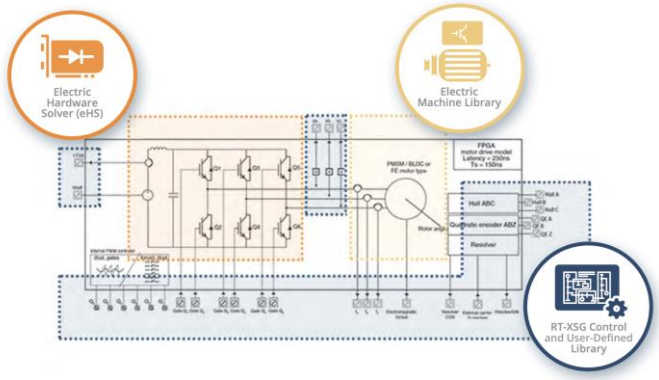
コンパイルなしでFPGA アップデート

- Scenario Feature
  (automate up to hundreds of scenarios)
- Flexible modelling environment
  - SimScape Power Systems, Simulink

Full integration into VeriStand™

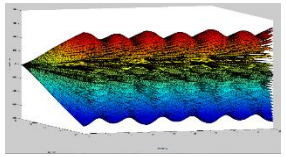
FPGA ソルバー





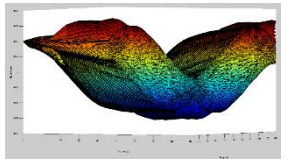
空間高調波のテーブルインポート(FEA)

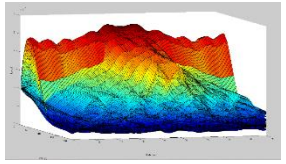
Torque, Flux & Inductance Table

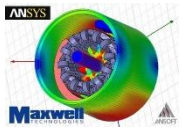


JMAG
Simulation Technology for Electromechanical Design

MotorSolve BLDC







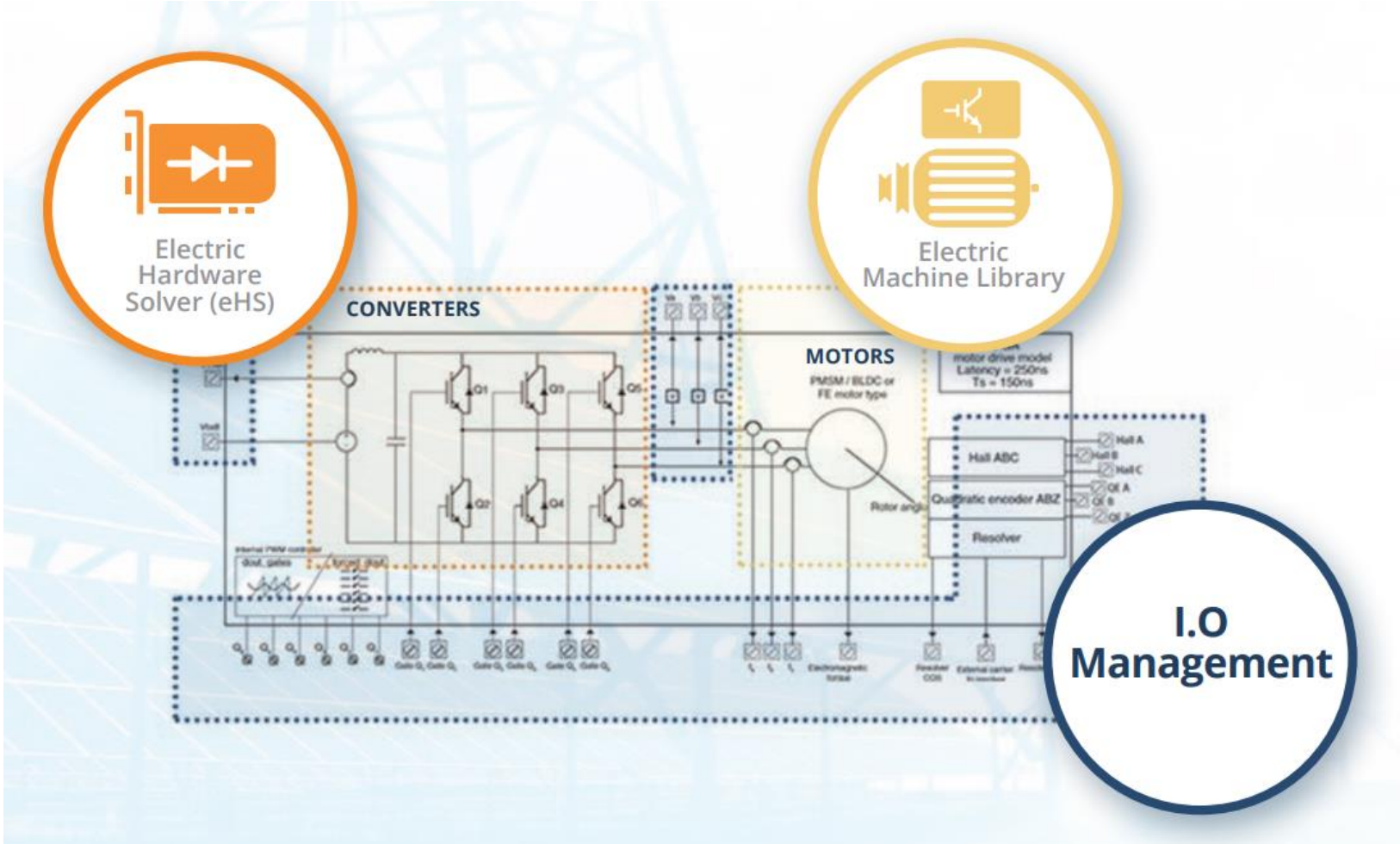
EMERSON | NI

INTERNAL - NI CONFIDENTIAL

Power Electronics (PE) アドオン

- 柔軟性が高く、最新のアーキテクチャに対応したツール
- 年2-4 回のアップデート
- 全てのモータモデルが利用可能
- オープン巻き線、マルチレベルインバータ　のような最新技術に対応

VeriStand



Please consult our WiKi for more information: https://wiki.opal-rt.com/display/DOCPEVS/Power+Electronics+Add-On+for+NI+VeriStand+User+Documentation

INTERNAL - NI CONFIDENTIAL

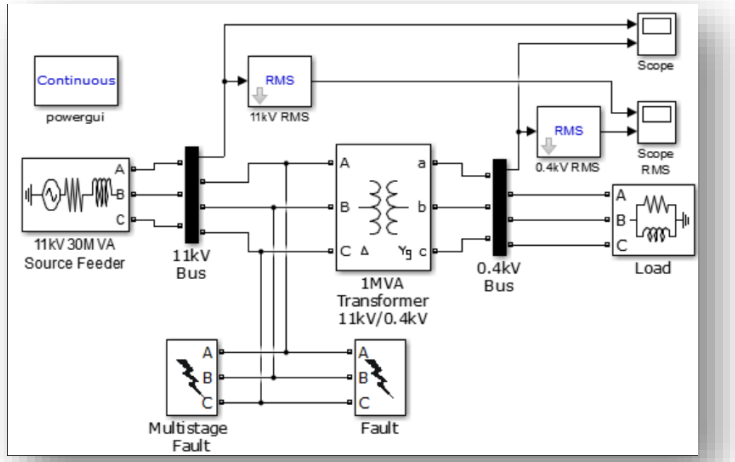
electrical Hardware Solver (eHS)

MathWorks®

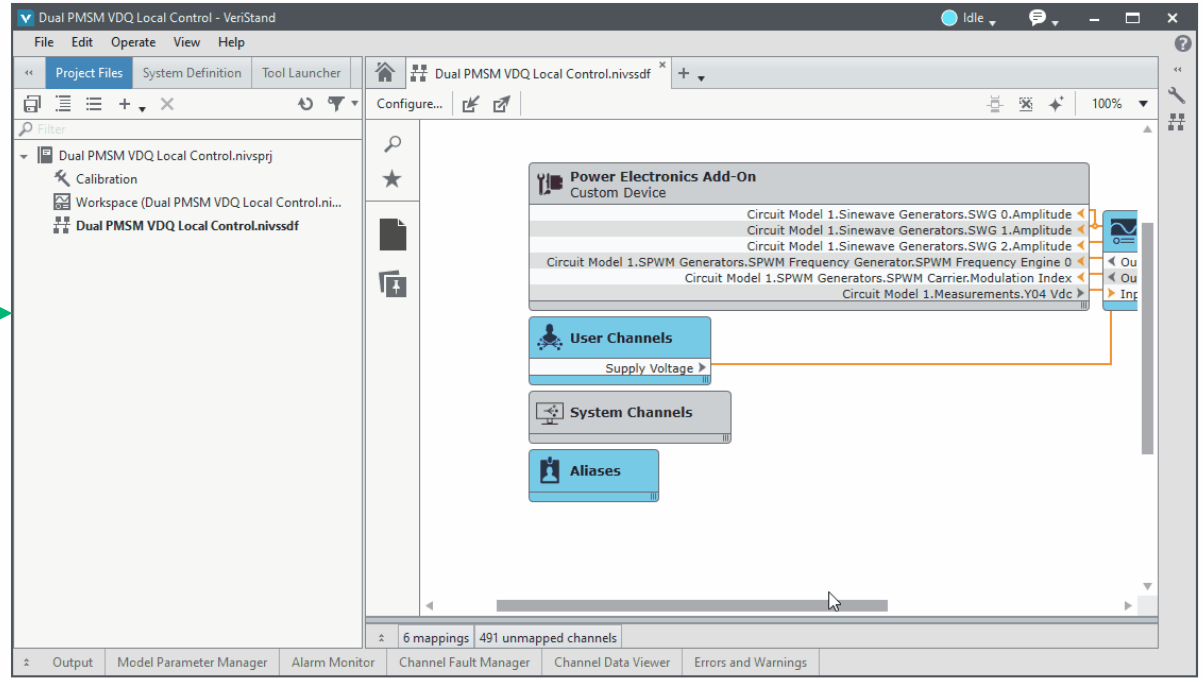
Electrical | Driveline | Multibody | Fluids

Simscape

Specialized Power Systems



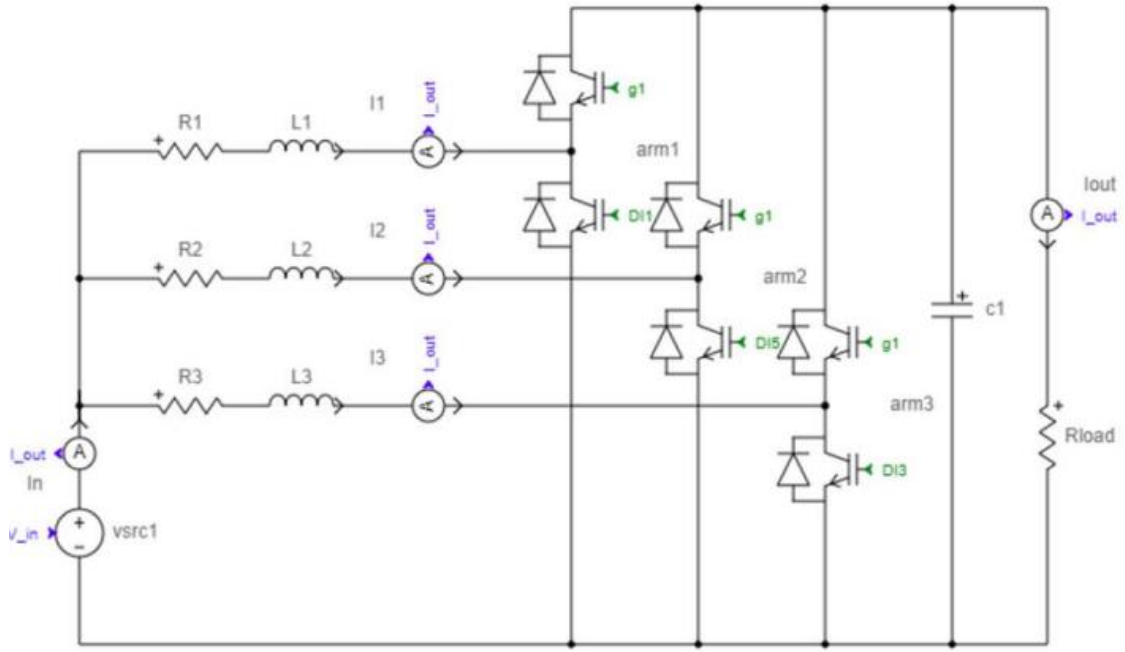
- Use the same source Simulink SPS model(s) on FPGA using the add-on
- Modify the circuit in seconds without any bitstream generation

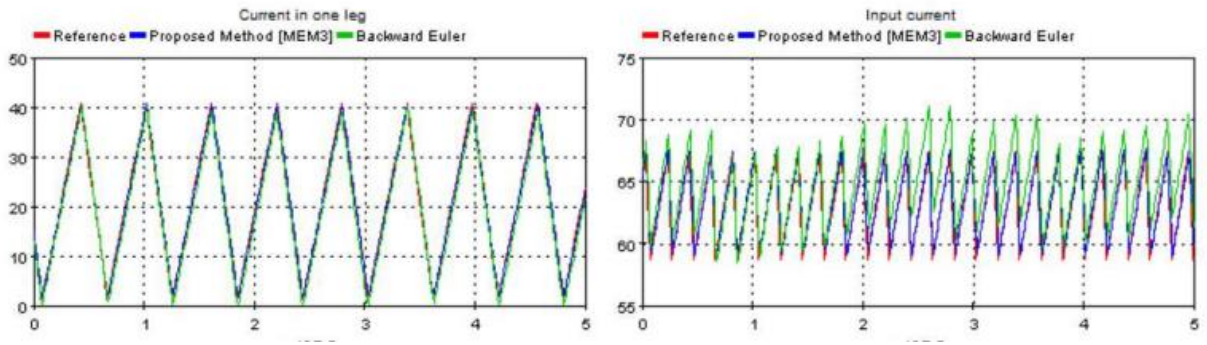


eHS GEN5

Deliver the most powerful Real-Time simulator

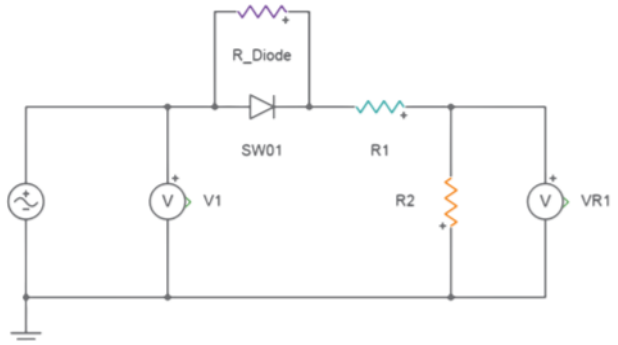
- Down to 90ns time step for user-defined topology
- 2.5ns gate sampling with switching event compensation
  - 5ns gate sampling would cause 100Hz error on a 200kHz PWM, could lead to significant errors (up to 10A) of current output
- The fastest real-time reconfigurable Power Electronic simulator of the world



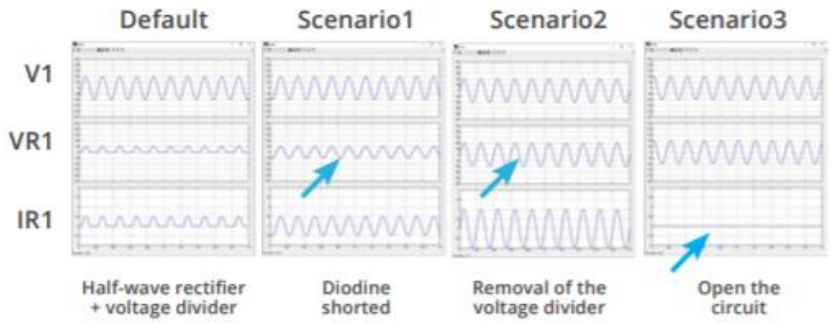


INTERNAL - NI CONFIDENTIAL

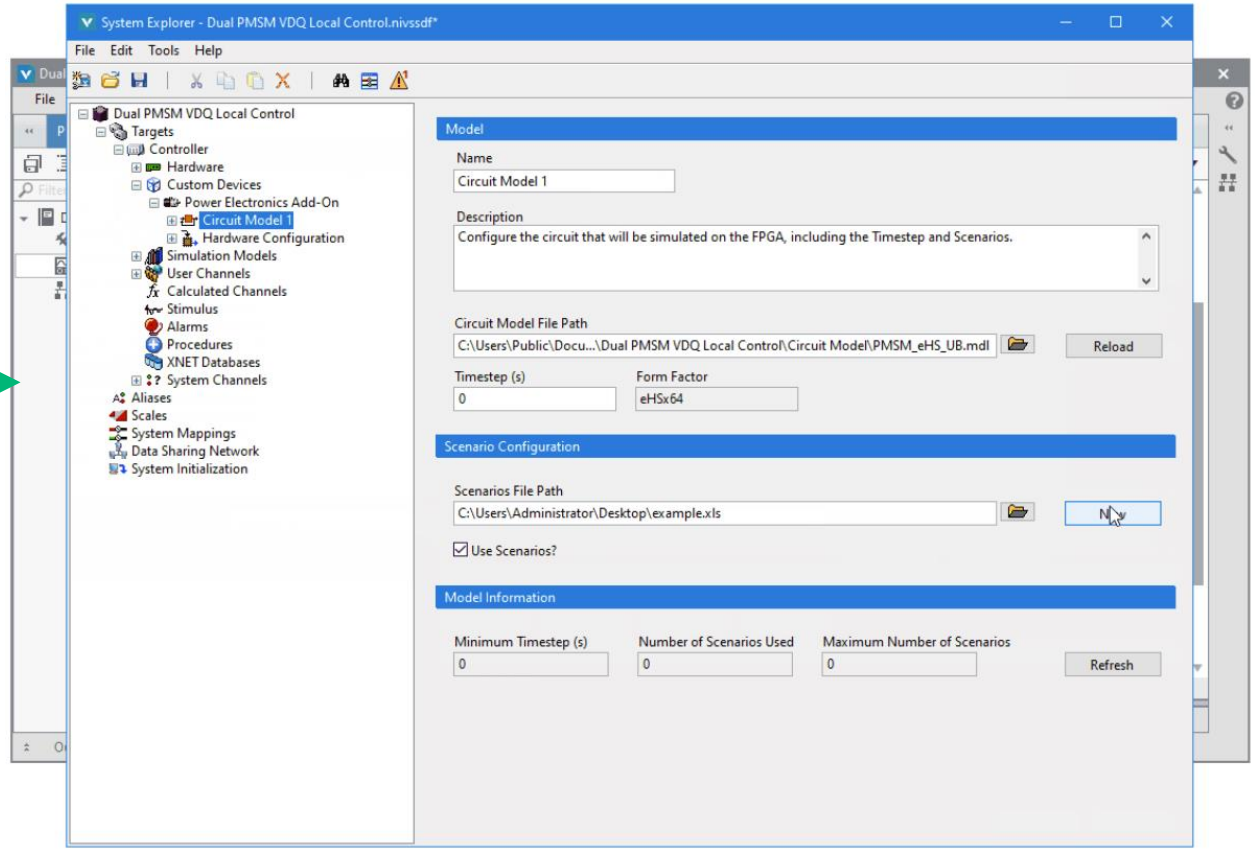
シナリオと故障模擬



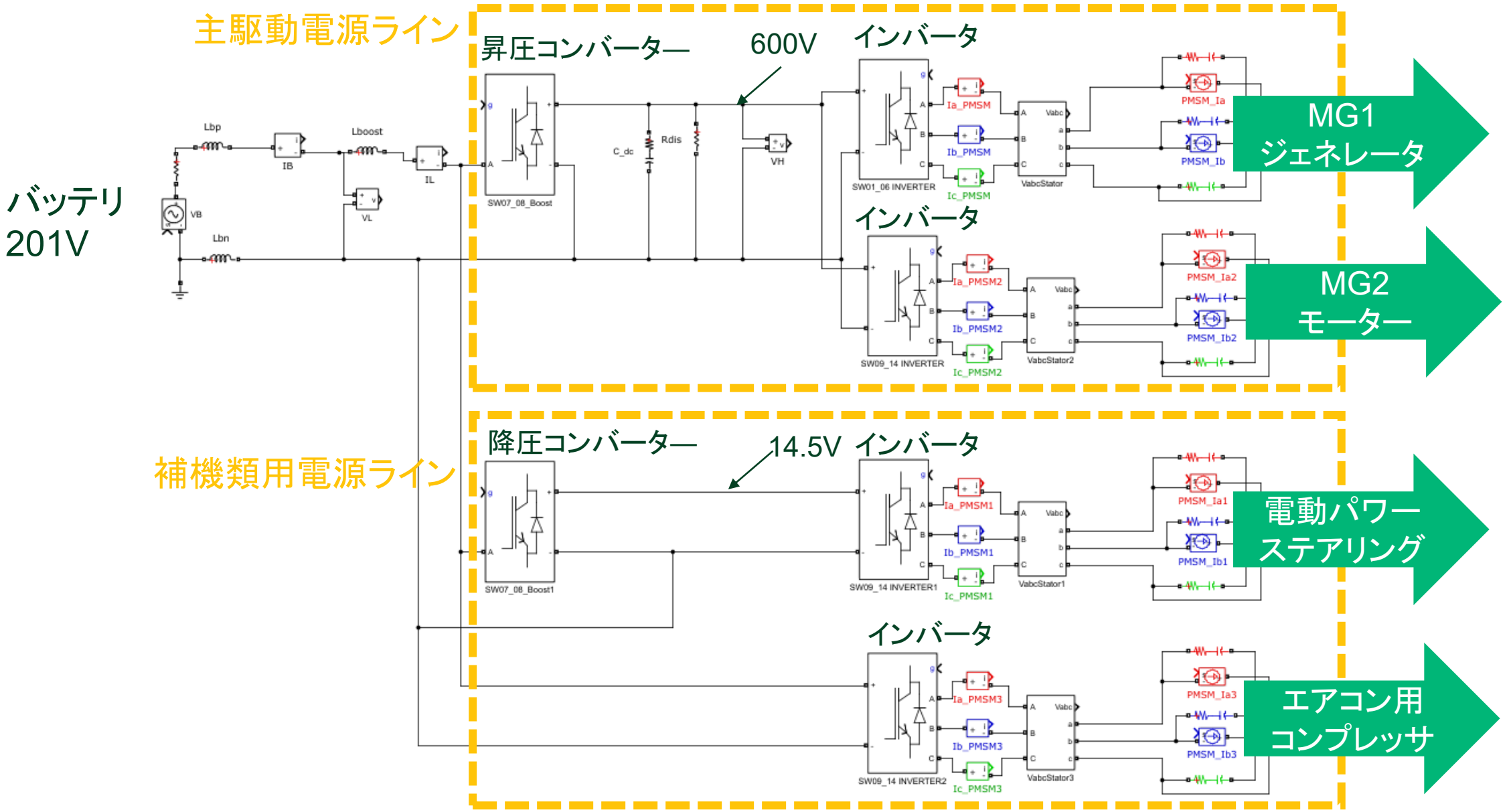
	A	B	C	D	E	F
1		R1	R2	R_Diode	snubber: SW01	SW01_Ron
2	Default	100	100	1000000	10000	0,001
3	Scenario1	100	100	0,001	10000	0,001
4	Scenario2	0,001	100	0,001	10000	0,001
5	Scenario3	0,001	1000000	0,001	10000	0,001



- 回路/マシンの何百ものテストケースと障害シナリオを作成可能
- python、TestStand、ECU-Testなどを使用してシナリオを自動化



Xin1 回路モデル例


主駆動電源ライン
昇圧コンバーター
600V
インバータ
バッテリ
201V
Lbp
Lboost
IB
IL
VB
VL
Lbn
C_dc
Rdis
VH
SW07_08_Boost
SW01_06 INVERTER
Ia_PMSM
Ib_PMSM
Ic_PMSM
VabcStator
PMSM_Ia
PMSM_Ib
MG1
ジェネレータ
インバータ
SW09_14 INVERTER
Ia_PMSM2
Ib_PMSM2
Ic_PMSM2
VabcStator2
PMSM_Ia2
PMSM_Ib2
MG2
モーター
補機類用電源ライン
降圧コンバーター
14.5V
インバータ
SW07_08_Boost1
SW09_14 INVERTER1
Ia_PMSM1
Ib_PMSM1
Ic_PMSM1
VabcStator1
PMSM_Ia1
PMSM_Ib1
電動パワー
ステアリング
インバータ
SW09_14 INVERTER2
Ia_PMSM3
Ib_PMSM3
Ic_PMSM3
VabcStator3
PMSM_Ia3
PMSM_Ib3
エアコン用
コンプレッサ

PXIe-7891　FPGA モジュール

Features

- 8/16 ch 差動アナログ入力 2MS/s
- 16/32 シングルエンドアナログ出力 2MS/s
- 16/32シングルエンド low-latency アナログ出力 4 MS/s per channel レーテンシー of 188 nsec
- 64 single-ended DIO channels

Capabilities

- **400kHz+ PWM**
- **4** モータシミュレーション
- **144** スイッチ実装
- **Capture gate signals at 2.5ns for sHIL+OBC**
- **Upload full JMAG, Maxwell motor models**

Key Applications

- EV Inverter Test
  - 4 simultaneous motor models
- Broadbase
  - Large FPGA, low latency AO enable complex control models

FPGA Backend Specifications

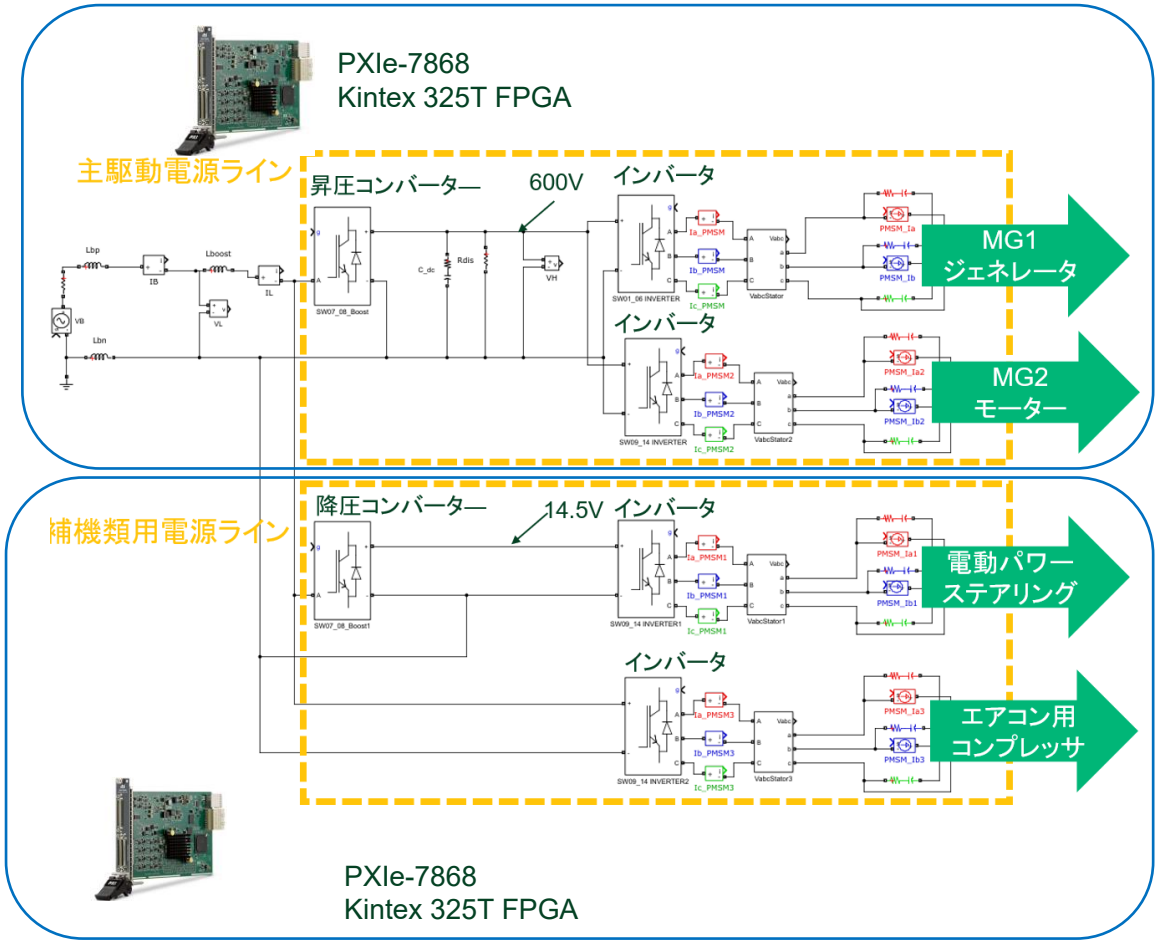
- Xilinx Kintex Ultrascale FPGA
  - KU060, 60 DMA
- 4 GB onboard DRAM
  - 2 x 2 GB Banks, 8.5 GB/s Bandwidth / bank
- PCIe Gen. 3 x 8 interface
- 64 single-ended DIO channels
- High-speed serial (2 QSFP+ Connector, up to 5 Gb/s)



NI CONFIDENTIAL

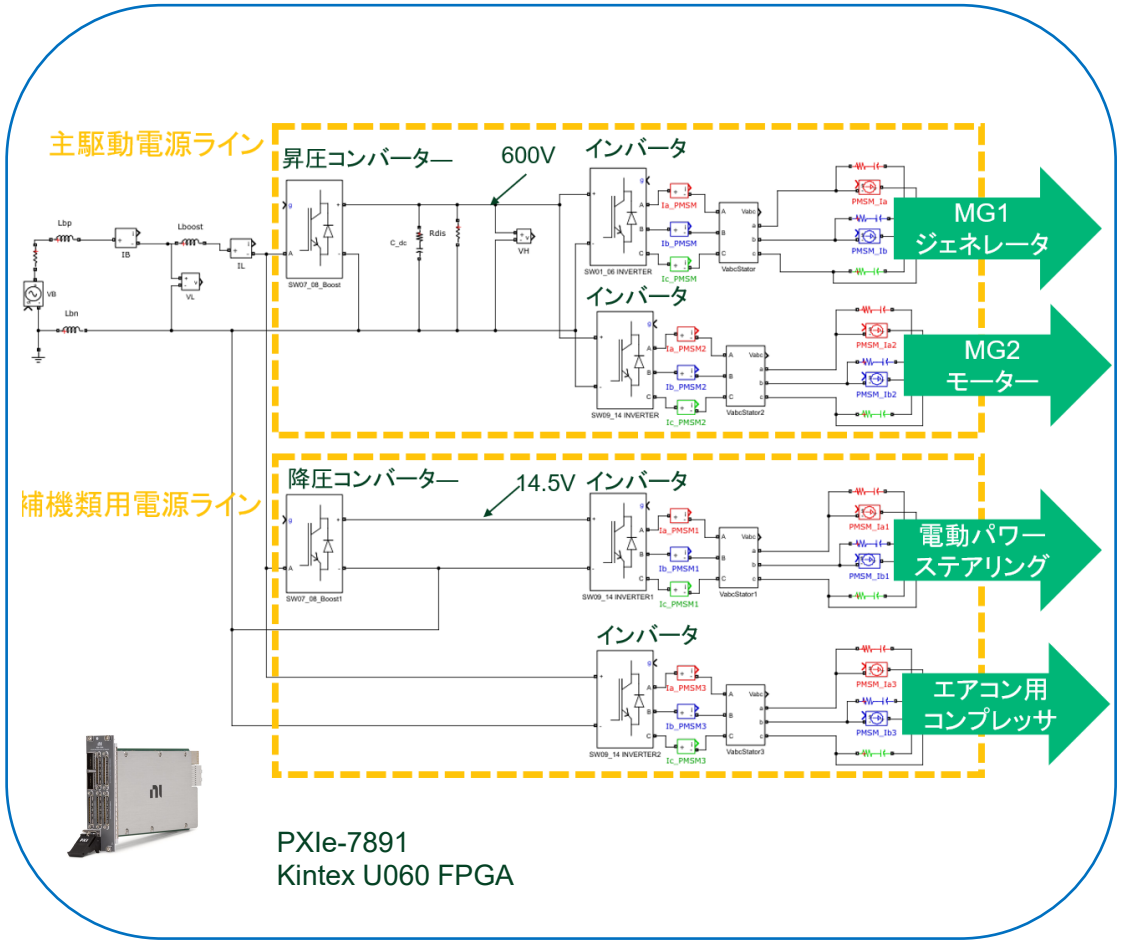
New PXIe-7891 – Quad-motor support on single FPGA

Kintex FPGA



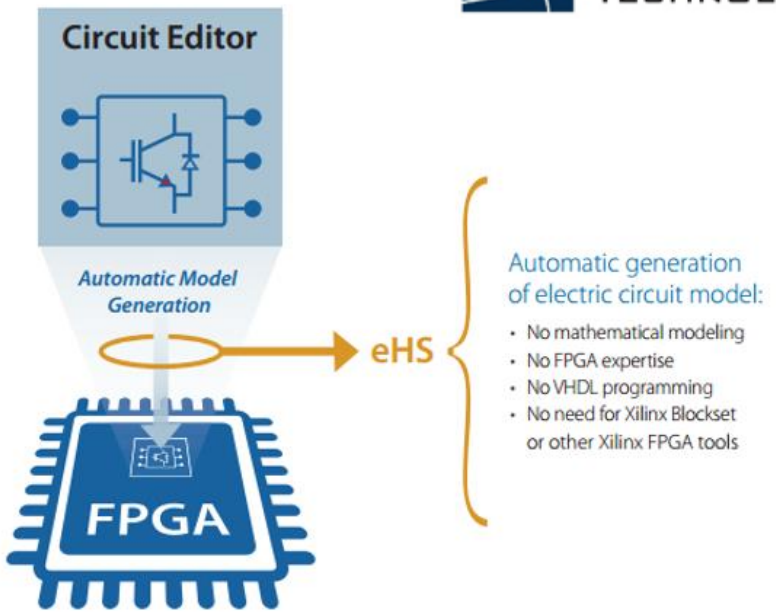
- モデルを2つに分割して検証
- FPGA間の通信レイテンシ(300 ~ 700 nsec)

Kintex UltraScale FPGA

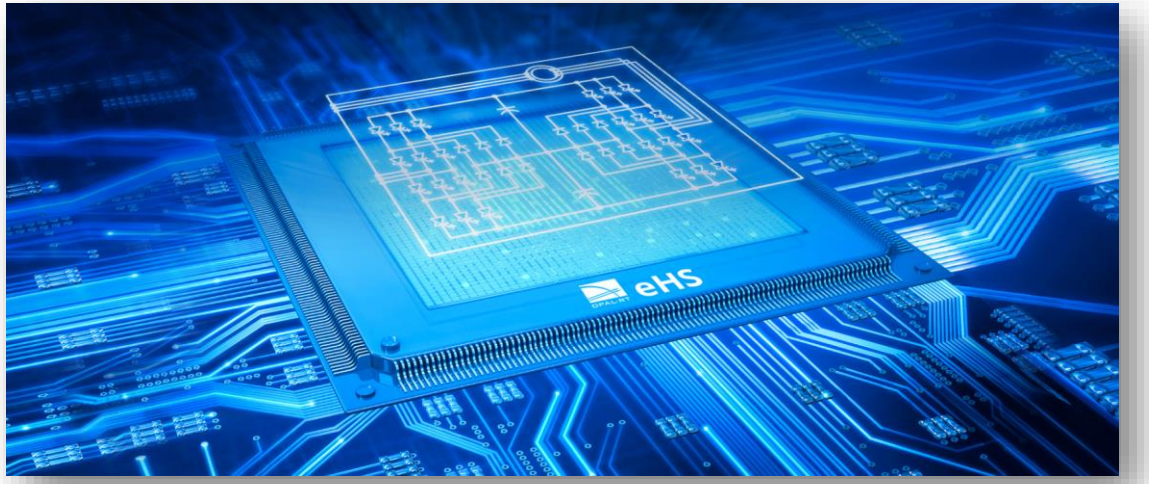


- モデル全体を1つのFPGAにデプロイ可能
- 回路間の遅延なし

OPAL-RTのパワーエレクトロニクス・アドオンは、最も高速で柔軟なFPGAベースのリアルタイムソルバー



- NI VeriStandに統合
- 低I/Oレイテンシのクローズドループ
- **144個以上のスイッチの結合が可能**
- 200kHz以上のPWMスイッチング周波数をサポート
- サンプル時間は100ns～2.5us

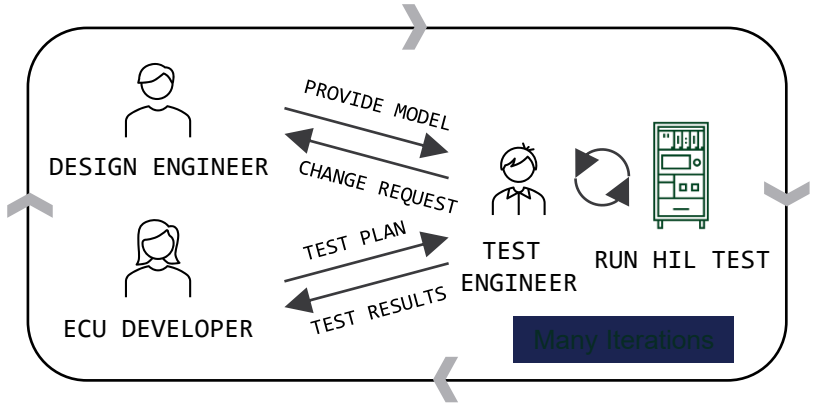


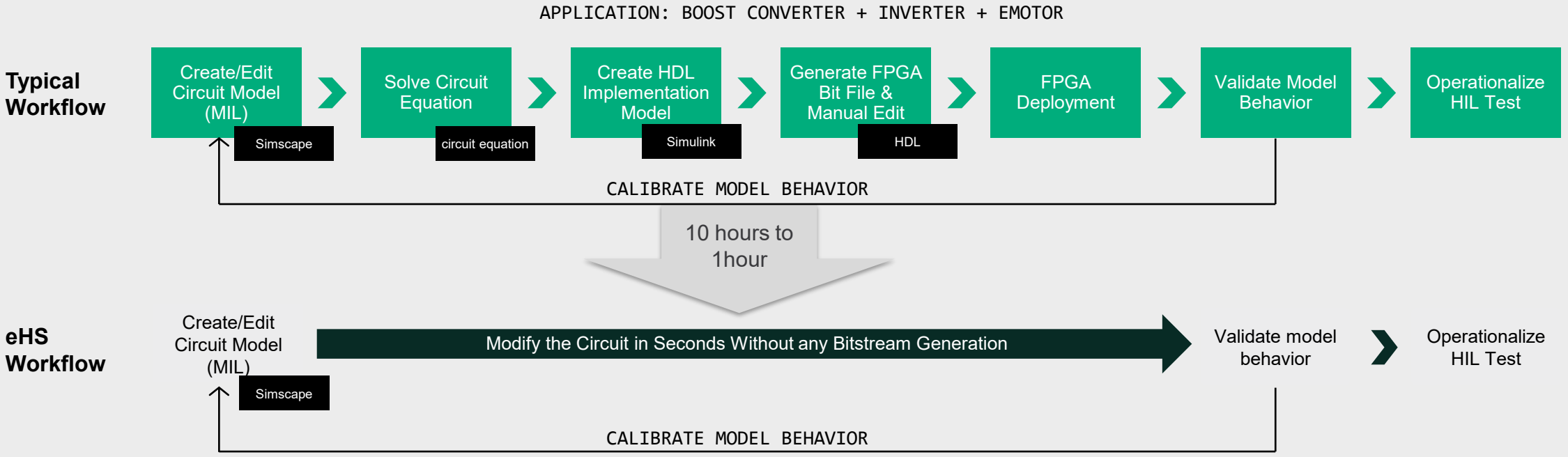
eHS で作業量を 1/10 に！

Challenge: モデルからFPGA への変換と実装は大変な作業

Solution: コンパイルなしで SimScape Electrical モデルの実装を NI VeriStand NI FPGA ターゲットに行える

Value: MIL から HIL へのワークフローをスムーズに



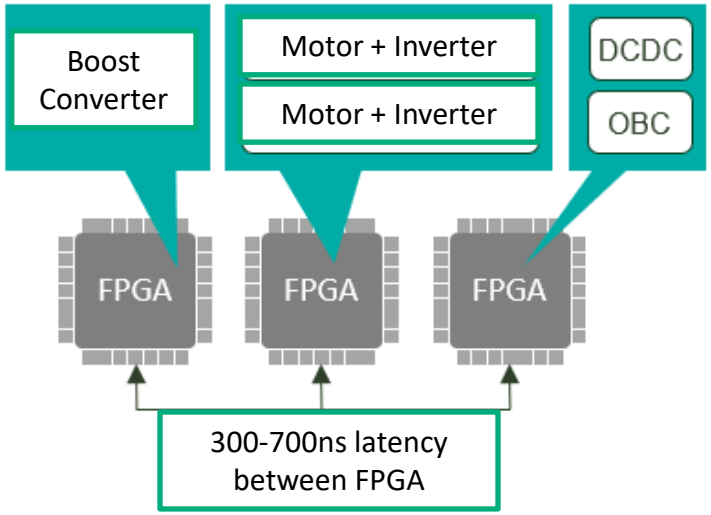


X-in-1 ECU　の再現も 1 FPGAで

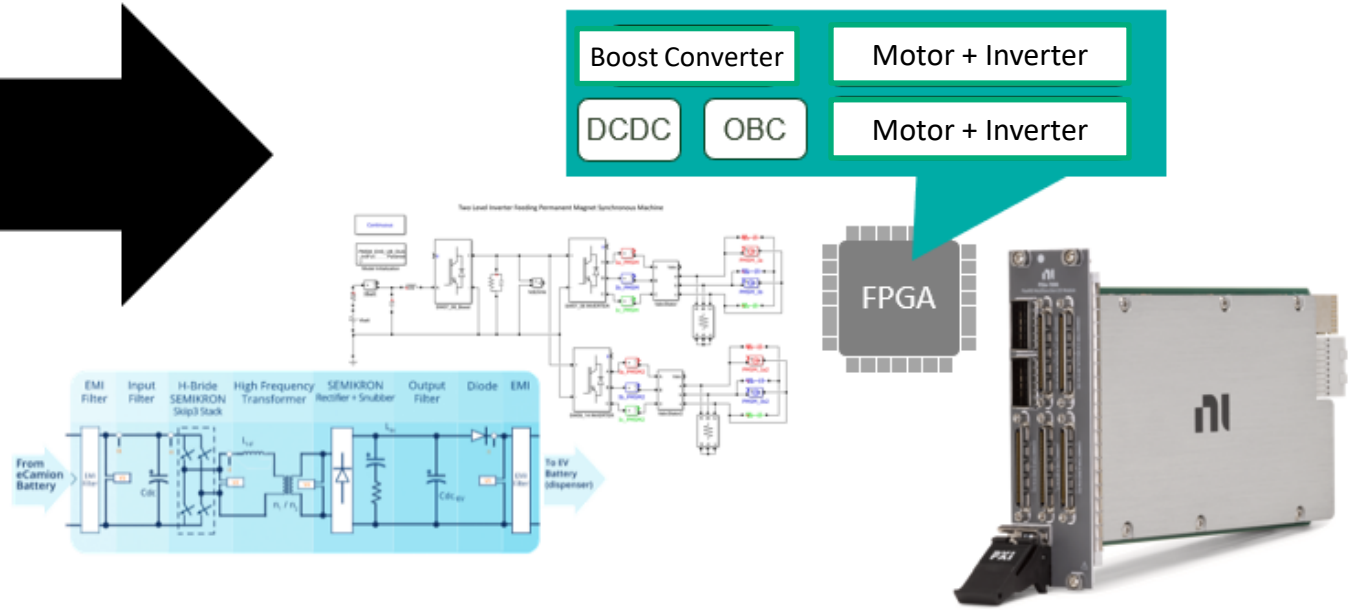
With over 10 years of experience, eHS solver can run

- Running on 1 FPGA eliminates latency and increases fidelity
- Running on 1 FPGA eliminates the need to disassemble models to run on multiple FPGAs
- Ability to run higher than 200kHz PWM enables running OBC models on the same FPGA

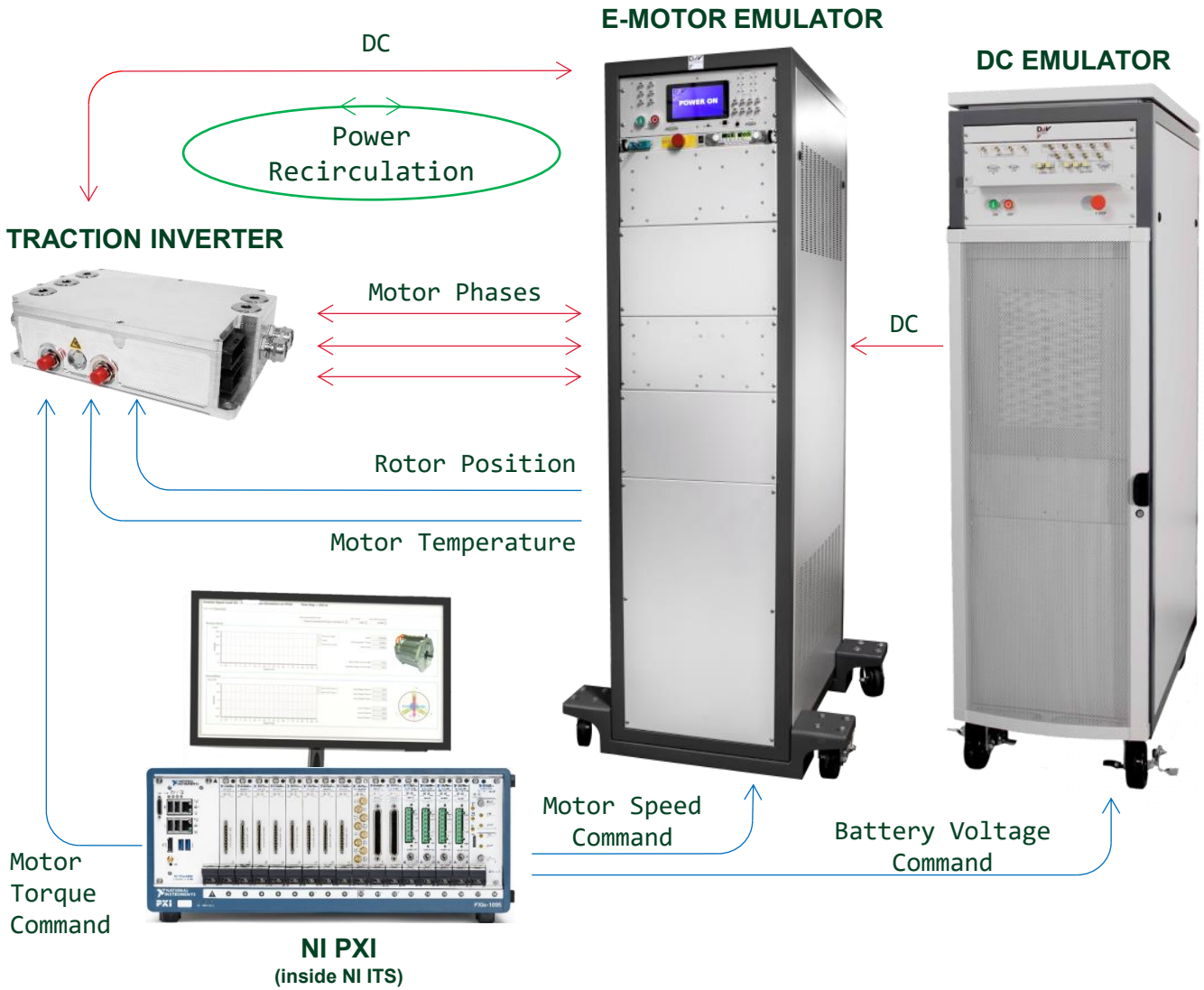
複数のFPGAで1つの回路（例：Xin1)をSimすると、
FPGA間通信遅延により過渡現象の再現が難しい
回路を解いて複数のFPGAに分割することが難しい



回路モデルを直接FPGAに実装
1つのFPGAで「Xin1」を模擬



モータエミュレータの追加で Power Level の再現



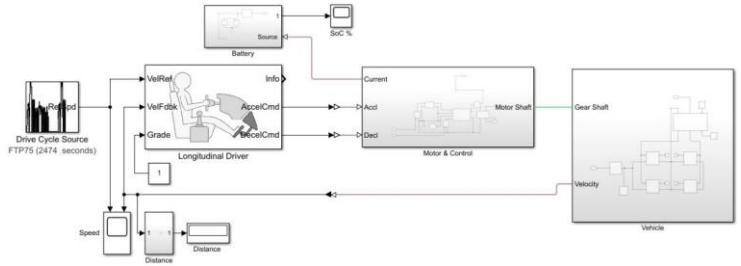
- Power Quality Measurements
- Thermal Chamber
- Fault Injection Unit (Power & Sensor)
- Real-Time Test Automation Software
- Additional DAQ Capability

Emulator Based Testing

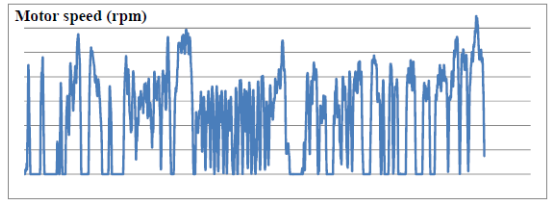
Real-Time and FPGA-Based Simulation



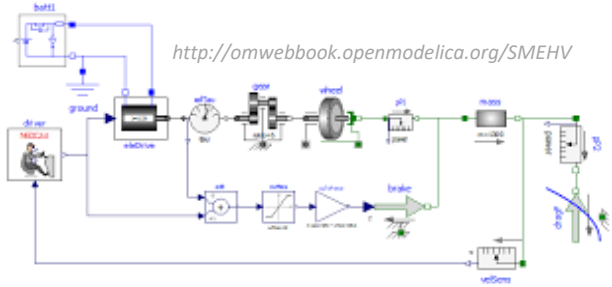
Vehicle Models



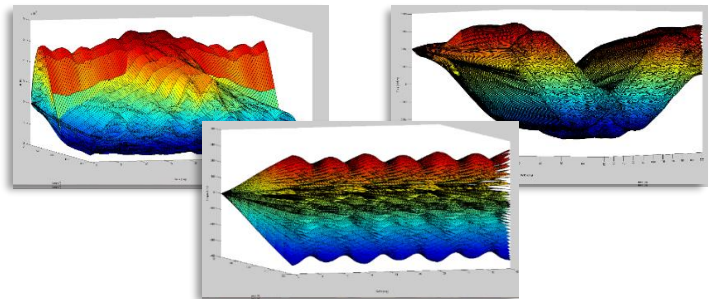
Drive Cycles



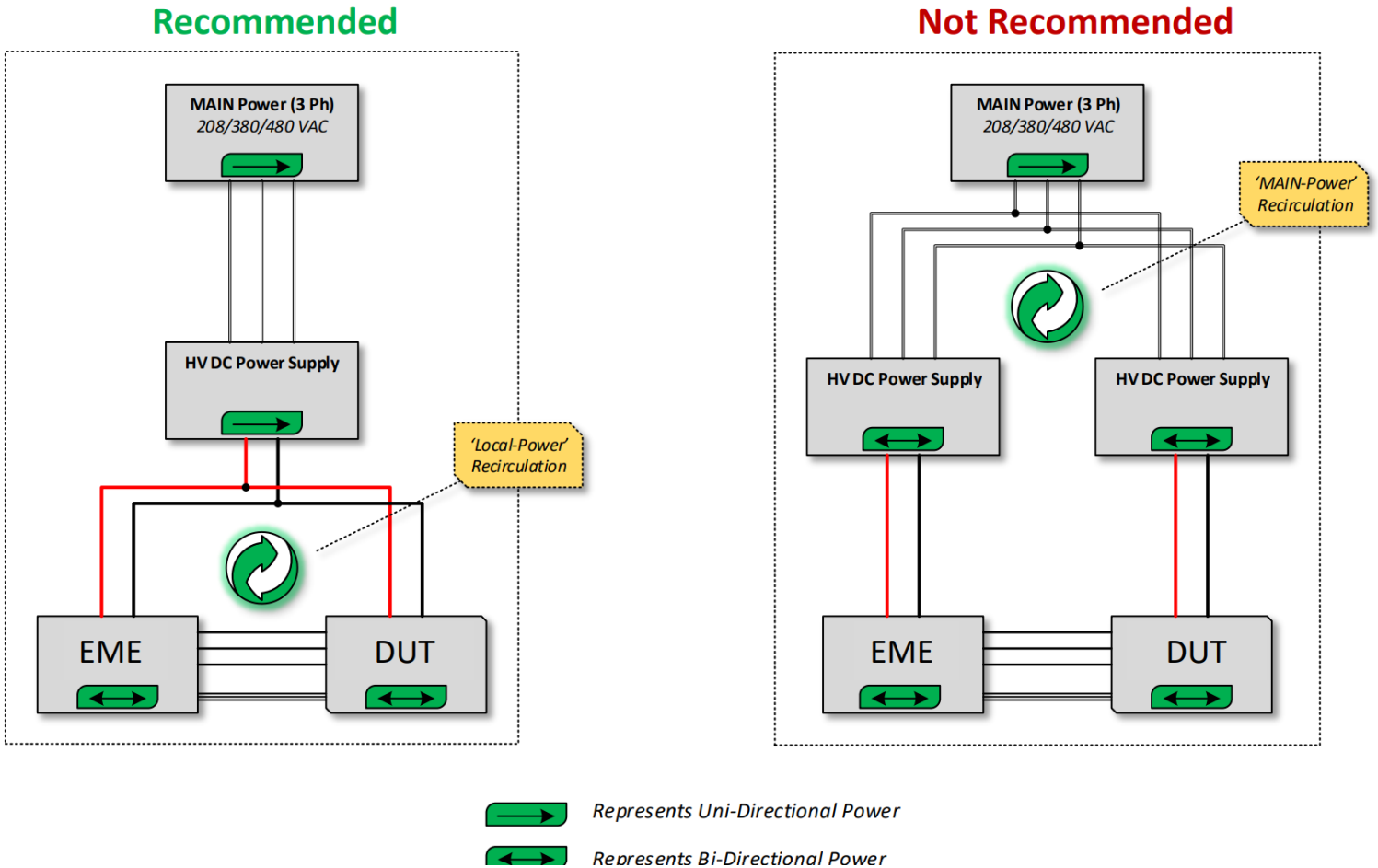
Mechanical Components



Motor Models



従来の設備よりサイズを 1/5 に!



Our system supports local DC power recirculation. This means:

- ✓ Fewer components
- ✓ Smaller system footprint
- ✓ Reduced system power loss
- ✓ Reduced facility power needs

It is possible to run with grid level recirculation but not recommended due to the disadvantages

ITSアーキテクチャとメリット

NI VeriStand

Embedded Test Software Functionality

リアルタイム刺激生成
刺激生成
ハードウェアI/O
アラーム
確定的モデル実行
MATLAB®およびSimulink®のサポート
マッピングとシステムの可視化
マルチシャーシ同期
閉ループ制御
データロギング
テストオートメーション
計算チャンネル
ユーザーアカウント管理
複数シャーシ間データ共有
スケーリングとキャリブレーション

