

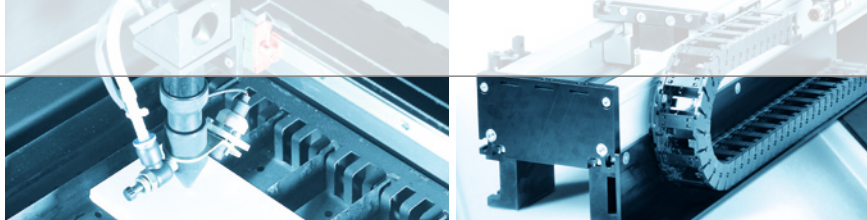
HIL シミュレータでのソフトウェアの  
自動テスト

## Electric Drives

# Efficiently Virtualized

Electric Drive の制御が、多くのエンジニアリングアプリケーションのキーテクノロジーとなっています。多くの用途に対応するには、高度の柔軟性が必要であり、特に産業オートメーションにおけるサーボコントローラの場合は高度の柔軟性が不可欠です。サーボコントローラ用のソフトウェアは、可能なすべての構成オプションだけでなく、多数のバリエーションが存在するため、テストには大量の作業負荷を伴います。HIL シミュレータ上の自動化テストにより、これらのテストが単純化され、極めて短時間でテストを行うことができます。

ドイツの LTI DRIVES GmbH は、数百ワットから 250 kW の性能レンジの Electric Drive 用サーボコントローラの開発、製造、販売を行っています。LTI 社のドライブ製品は、従来のオートメーションテクノロジー分野だけでなく、医療技術、風力発電、高速ドライブの分野にも広がっています。また、LTI 社は、10 年以上も前から産業用のディーゼル/電気式ハイブリッドトラックへのカスタム開発のインバータの搭載を開始しています。どの分野においても、Electric Drive のソフトウェアのレベルはますます高くなり、革新サイクルはますます短くなっています。したがって、サーボコントローラ用のソフトウェアテストを



効率的に実行することが極めて重要になっています。

#### 単一のサーボコントローラですべてに対応

サーボコントローラの主な機能は、直流モーター、同期／非同期モーターなどのさまざまなタイプのモーターの電流、回転速度、位置を制御することです。LTi 社の ServoOne サーボコントローラは、ユーザがさまざまなアプリケーション用に構成することのできる多数の付加機能を備えています。図 1 にサーボコントローラ用として一般的なソフトウェア機能モジュールを示します。これらの機能のすべてにおいて、さまざまなテストが必要です。多数のバリエーションが存在し、多岐にわたる機能のため、テストに膨大な作業を要することは言うまでもありません。このような背景に

貴重なテストベンチを占有してしまうことにもなります。

ソフトウェアテストで実物の部品を使用するためのテスト条件の多くは安全性に関するものであるため、さらなる課題を生み出します。このような条件は、過電流、過電圧、過速度（過回転）、過熱など、重大なエラーのテスト時に適用されます。

#### ソリューション：HIL シミュレーション

広範なソフトウェア機能とハードウェア構成をテストするためのソリューションが、HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションです。制御対象システムと実際の部品がシミュレーションモデルに置き換えられ、テスト中のセットアップ作業の大部分が不要になります。HIL シミュレーションは、自動制御で実行できるため 24

時間体制でテストを行うことができます。テストの自動化は、CANopen、SERCOS、CAN J1939 などの標準化されたフィールドバスプロファイルへの適合を検証するルーチンテストに特に役立ちます。技術的な安全性を承認する手順においても、エラーシミュレーションを伴うテストシーケンスを何度も反復することが必要となります。ここでもまた、テストオートメーションによって大幅な単純化を図ることができます。

#### シミュレーションハードウェアのセットアップ

シミュレータのすべてのコンポーネントは、1つの移動式キャビネット内に統合されています（図 2）。dSPACE システムが、リアルタイムシミュレーション用プラットフォームとして使用されています。このシステムは、プロセッサボード (DS1005) × 1、Electric Drive シミュレーション用 I/O ボード (Electric Motor HIL Solution) × 2、CAN インターフェースボード (DS4302) × 1 で構成されています。dSPACE システムとテストオブジェクト間の接続テクノロジーおよびシグナルコンディショニングは、LTi 社によって計画され実

「dSPACE の HIL シミュレーションテクノロジーは、LTi 社での品質保証および開発にかかるコストの削減に重要な役割りを果たしています」

Dr. Harald Wertz, LTi DRIVES GmbH

対し、ソフトウェア修正時の自動化復帰テストが大いに役立ちます。

#### 課題：実物部品

ソフトウェアのテストは単独で行うだけでなく、多数のハードウェア構成との相互作用のテストも行う必要があります。さまざまなパワーステージ、タイプの異なるモーターおよびエンコーダ、各種フィールドバスおよびテクノロジーオプションボードのすべてを、さまざまに組み合わせてテストする必要があります。テストベンチでのテストに実際のハードウェアを使用する場合、インバータおよびモーターの電気的および機械的な組込みなど、さまざまなセットアップ作業が必要です。これは、ソフトウェアのリリースプロセスを長引かせるだけでなく、

図 1：サーボコントローラの一般的なソフトウェアコンポーネント



装されました。また、このキャビネットには産業用 PC を内蔵し、フィールドバスマスターとして機能すると同時に、テストオートメーションソフトウェアのホストとしての役割も果たします。シミュレータにできるだけ高い汎用性を持たせるために、さまざまなドライブ製品で使用されている制御部品用ボードをテストオブジェクトとしてキャビネット内に統合することができます。そのために、引き出し式トレイと、ピン数の多い（ハイピンカウント）堅牢なコネクタを備えた標準化されたアダプタが用意されています。

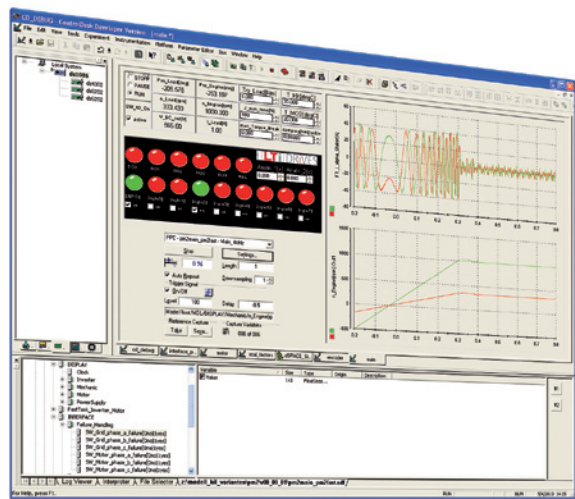


図 3 : ControlDesk のユーザインターフェース



図 2 : HIL シミュレータの外観

### シミュレーションモデル

制御対象システム用のシミュレーションモデルは、Simulink® を使用して作成されました。このモデルは、同期および非同期モーターおよびパワーコンバータなど、dSPACE の ASM Electric Components ライブラリのモデルをベースにしています。これらのモデルはオープンな構造であるため、LTI 社の要件にも容易に適合させることができました。リアルタイムでの三相ネットワークのシミュレーションなどには、The MathWorks® 社の SimPowerSystems Toolbox のコンポーネントも使用されています。

### ドライブの周辺装置

実際のプラントは高度に動的であるため、パワーエレクトロニクスおよび Electric Drive のリアルタイムシミュレーションでは、シミュレーションシステムに非常に厳しい要求が課されます。dSPACE が Electric Drive のために特別に開発した EMH ボードには、一連のインテリジェントな I/O チャンネルが用意されています。FPGA (field-programmable gate array) によって、I/O の高い時間分解能での処理が実行されます。この処理には、パワーステージのために制御エレクトロニクスによって生成される PWM 制御信号の解析と、ポジションエンコーダのシミュレーション中に発生するデジタル信号およびアナログ信号の生成が含まれます。EMH ボードは、通常のアナログリゾルバ

およびエンコーダシステムのシミュレーションだけでなく、シリアル転送プロトコルの SSI、EnDat2.1®、Hiperface® などの TTL インクリメンタルエンコーダのシミュレーションにも使用することができます。このシリアルエンコーダシステムのプロトコルは、柔軟にパラメータ設定することができ、一般的なすべてのエンコーダタイプを表現することができます。

### テストオートメーション

HIL シミュレータとの作業には dSPACE ControlDesk を使用します (図 3)。自動テストの実装には Python スクリプトが使用されています。ホストコンピュータからシミュレータおよびテストオブジェクトへのアクセスは、dSPACE および LTI 社で作成した Python ライブラリを使用して実装され、簡単にアクセスすることができます。

### シミュレーションと実際との比較

リアルタイムモデルの品質を評価するために、まず、11 kW の同期モーターのパラメータを、このドライブの自動調整機能の助けを借りて、実際のテストセットアップ上で決定しました。この自動コントローラ的设计に従って、電流とモーター速度制御のステップ応答を測定しました。次に、HIL モーターモデルは、実際のハードウェア上で識別されたモーターデータを使用してパラメータ化され、ステップ応答は、HIL シミュレータ上のテストオブジェクト

用の同一のコントローラパラメータ設定を使用して記録しました。こうすることにより、それぞれのプロセス間の良好な整合性が得られました (図 4)。

#### 今後の展望

強力な dSPACE ハードウェアおよび専用のシミュレーションアルゴリズムを使用して、リアルタイムでの Electric Drive の HIL シミュレーションを高度の品質レベルで実行することができます。リアルタイムモデルの精度が高いため、どれほど要求の厳しい制御であっても詳細に調べることができます。LTI 社では、サーボコントローラ用ソフトウェアのテストの自動実行以外にも、次のような HIL シミュレーションの用途が有望であると考えています。

- カスタマーアプリケーション用制御パラメータの最適化によるオンサイトでのコミショニングの準備および時間の短縮
- 制御機能に関するハードウェア関連のテストを実行するための、ソフトウェアプロトタイプ of 早期テスト
- ハイブリッドおよび電気自動車用モーターの制御テクノロジーに関する設計データの早期評価 ■

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Küsterarent,  
Dipl.-Ing. Jens Schirmer,  
Dr.-Ing. Harald Wertz,  
Dipl.-Ing. Ulrich Schumacher  
LTI DRIVES GmbH, Unna  
ドイツ

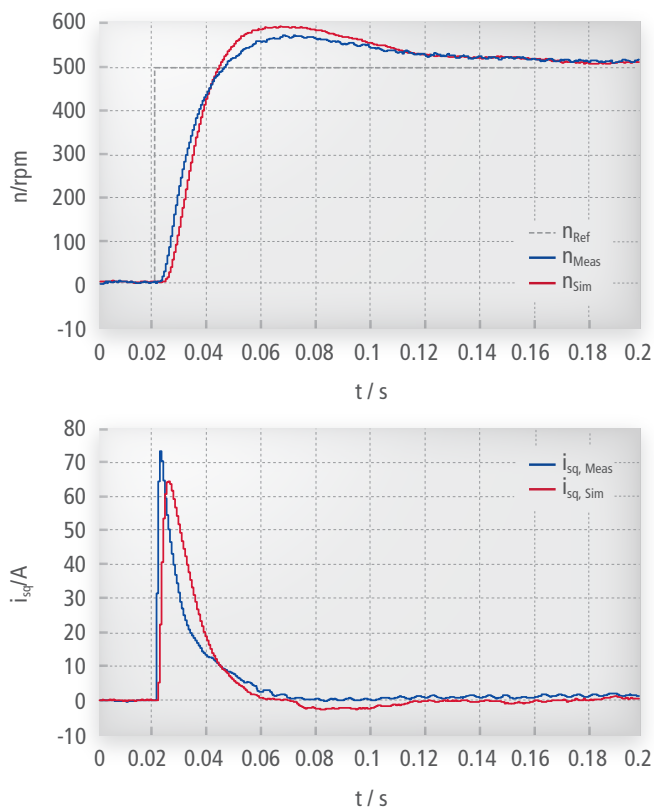


図 4 : HIL シミュレーション (赤色) と実際のテストセットアップ (青色) でのモーター速度制御の比較 (いずれの場合もサンプリングレートは 125  $\mu\text{s}$  に設定)



左から :

工学修士 (FH) Thomas Küsterarent 氏  
テストオートメーション用ソフトウェア  
フレームワークの開発

工学修士 Jens Schirmer 氏  
リアルタイムモデルの開発

工学博士 Harald Wertz 氏  
ソフトウェア開発リーダー

工学修士 Ulrich Schumacher 氏  
HIL ソフトウェアテストプロジェクトの  
プロジェクトマネージャ